

Masteroppgave, Institutt for geofag

Kvantifisering av effekten for reflektert sol- og himmellys på målinger av oppoverspredt lys fra havet foretatt fra passasjerskip, sammenlignet med satellittestimater av oppoverspredt lys.

Øyvind Kleiv



UNIVERSITETET I OSLO

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

Kvantifisering av effekten for reflektert sol- og himmellys på målinger av oppoverspredt lys fra havet foretatt fra passasjerskip, sammenlignet med satellittestimater av oppoverspredt lys.

Øyvind Kleiv



Masteroppgave i geofag

Studieretning: Meteorologi og Oseanografi

Institutt for geofag

Matematisk-naturvitenskaplig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

15.06.2011

© Øyvind Kleiv, 2011

Dette eksamensarbeidet er publisert elektronisk i DUO – Digitale Utgivelser ved UiO

<http://www.duo.uio.no>

Det er også katalogisert i BIBSYS (<http://www.bibsys.no/>)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without permission.

Sammendrag

En av flere viktige oppgaver for The European Space Agency (ESA) er å bruke satellitter til overvåkning av forholdene i havet. Et nødvendig hjelpemiddel for å forbedre metodene er å validere ESAs produkter i felten. Ved å sammenligne in situ målinger foretatt med sensorer fastmontert på forskningsfartøy kan man effektivt validere data fra MERIS sensoren på ENVISAT satellitten. Problemet for de fastmonterte sensorene man bruker i feltmålingene vil være, at de måler både det lyset som kommer opp fra sjøen så vel det lyset fra sol og himmel som blir reflektert fra havoverflaten. Det sistnevnte bidraget vil avhenge av bølgelengde, vindstyrke og – retning og solens stilling på himmelen. Oppgaven går ut på å finne metoder for å estimere bidraget fra sol og himmel med god nøyaktighet, slik at de kan trekkes ifra totalsignalet og gi det resterende bidraget som kommer fra sjøen. Dette siste bidraget kan så sammenlignes med de tilsvarende størrelser som er beregnet ut fra satellittobservasjoner, f.eks. MERIS sensoren på satellitten Envisat.

Løsningsmetoden har vært å se nærmere på oppadgående radians fra nadir i luft og i vann, og dette har blitt normalisert opp mot maksirradiansspekteret målt i luft fra senit. Ved hjelp av et MATLAB skript og en tidslogg har måledataene blitt prosessert og presentert som ulike plott av blant annet radiansen L_u målt i ulike dyp, irradiansen E_d i luft, total reflektert radians L_r , totalreflektansen L_r/E_d og forholdet $L_w/L_{u\ total}$.

Resultatene viser at svekningskoeffisienten K_{L_u} som ble utregnet i forbindelse med ekstrapoleringen har samme form for alle toktdagene i bølgelengdeområdet 400 til 750nm, men er noe ulike størrelsesmessig som vist i figur 4.1 i kapittel 4.

Kurvene for total reflektert radians L_r normalisert er fra måleserie til måleserie av ulik størrelsesorden og form, men et fellestrekk som går igjen er knekken i kurven som oppstår ved 761,3nm bølgelengde. Den samme knekken kan også ses i kurvene for L_u og E_d . Totalrefleksjonen L_r/E_d viser en tilsvarende opphøyning i bølgelengdeområdet rundt 761,3nm.

Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ er mye mindre enn 1 ved bølgelengdene 350 og 750nm for begge toktdagene i mai 2010, mens for juni toktet 2009 er forholdet over 1/10 for noen av måleseriene.

Forord

Først vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder Eyvind Aas og medveileder Kai Sørensen som har gitt meg mulighet til å skrive denne oppgaven, og vært hjelpsomme når jeg har hatt spørsmål. Og ikke minst vil jeg takke Are Folkestad som har vært behjelpelig med alt fra MATLAB-skript til og svare på spørsmål angående oppgaven. Jeg vil også takke mannskapet på forskningsfartøyet Trygve Braarud.

Det har vært både spennende og utfordrende å jobbe innenfor et fagfelt jeg ikke kjente så godt til fra tidligere. Jeg har fått et større innblikk og forståelse rundt valideringen av MERIS satellitt data, hvordan in situ målingene foretas og hvilke prosesseringsmetoder som er de beste. I løpet av utarbeidelsen av oppgaven har det vært noen forsinkelser som da det ble oppdaget at feil kalibrering var blitt brukt på måledataene fra toktene.

Til slutt vil jeg takke Norsk institutt for vannforskning(NIVA) for tilgang til måledata og utlån utstyr.

Jeg vil også takke venner og familie for all støtte.

Øyvind Kleiv, 15/6-2011, Oslo

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
2	Metodebeskrivelse.....	3
2.1	Instrumentbeskrivelse.....	3
2.2	Kalibrering av instrumenter.....	8
2.3	Innhenting og prosessering av måledata.....	10
2.4	Behandling av MERIS satellittdata	14
3	Resultater og diskusjon	16
3.1	Toktet 6.mai 2010.....	16
3.2	Toktet 7.mai 2010.....	32
3.3	Toktet 25.juni 2009.....	45
4	Konklusjon	57
5	Videre arbeid	59
	Litteraturliste	60
	Vedlegg	61

Figur 1. 1	Forskningsfartøyet Trygve Braarud til Universitetet i Oslo.....	2
Figur 2. 1	Det optiske layoutet til TriOS radiometre.	4
Figur 2. 2	Det optiske oppsettet av en RAMSES-ARC radians sensor.....	5
Figur 2. 3	Det optiske oppsettet av RAMSES-AAC irradians sensor.....	6
Figur 2. 4	En irradians sensor til høyre og en radians sensor til venstre.....	6
Figur 2. 5	Kalibreringsspetet til irradianssensoren 807C.....	8
Figur 2. 6	Mørkestrømspekteret til irradianssensoren 807C	8
Figur 2. 7	To radians sensorer fastmontert i stativ frempå baugen styrbord side av Braarud..	10
Figur 2. 8	En irradians sensor som måler lys fra sensit, en radians sensor nadir og en radians sensor tiltet en bestemt vinkel i forhold til nadir.....	11
Tabell 2. 1	De ulike definisjonene for radians og irradians.	12
Figur 3. 1	Oppadgående radians Lu for ulike dybder i vann for måleserie C01.....	17
Figur 3. 2	Oppadgående radians Lu normalisert mot Ed_{maks} for ulike dybder i vann for måleserie C01.	17
Figur 3. 3	Oppadgående radians Lu tilt for ulike dybder i vann for måleserie C01.	18
Figur 3. 4	Nedadgående irradians Ed i luft for måleserie C01. Målingene er gjort i samme tidsrom som for Lu	19
Figur 3. 5	Oppadgående radians Lu i luft for måleserie C01, både normalisert og ikke normalisert versjon.	19
Figur 3. 6	Regresjonslinjen for $LN(Lu_{norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie C01.....	20

Figur 3. 7 Regresjonslinjen for $LN(Lu_{norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie C01. Regresjonslinjen er feil grunnet feil i MATLAB skript.....	20
Figur 3. 8 Svekningkoeffisienten KLu for måleserie C01.....	21
Figur 3. 9 Gjennomsnittet av den ikke normaliserte svekningskoeffisienten KLu (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik(rød graf).	22
Figur 3. 10 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten KLu (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik(rød graf).	22
Figur 3. 11 Total reflektert radians L_r for måleserie C01, ikke normalisert versjon.	23
Figur 3. 12 Total reflektert radians L_r , ikke normalisert versjon, for alle måleserier.	23
Figur 3. 13 Total reflektert radians L_r , normalisert versjon, for alle måleserier.	24
Figur 3. 14 Totalreflektansen L_r/Ed ikke normalisert versjon for alle måleserier.	25
Figur 3. 15 Totalreflektansen L_r/Ed normalisert versjon for alle måleserier.	25
Figur 3. 16 Forholdet Lw/Lu_{total} ikke normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.	26
Figur 3. 17 Forholdet Lw/Lu_{total} normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.	27
Figur 3. 18 Water-leaving reflectance ekstrahert direkte ut ifra MERIS L2 data(MERIS1). ..	28
Figur 3. 19 Water-leaving radiance ekstrahert fra L1b MERIS data og water-leaving radiance beregnet ut ifra in-situ målinger.	29
Figur 3. 20 Det relative standardavviket for Lu_{luft} for måleserie C01.	29
Figur 3. 21 Det relative standardavviket for Lu i vann for måleserie C01.	30
Figur 3. 23 Oppadgående radians Lu normalisert mot Ed_{maks} for ulike dybder i vann for måleserie C04.	32
Figur 3. 24 Oppadgående radians Lu_{tilt} for ulike dybder i vann for måleserie C04.	33
Figur 3. 25 Nedadgående irradians Ed i luft for måleserie C04. Målingene er gjort i samme tidsrom som for Lu	33
Figur 3. 26 Oppadgående radians Lu i luft for måleserie C01, både normalisert og ikke normalisert versjon.	34
Figur 3. 27 Regresjonslinjen for $LN(Lu_{norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie C04.....	35
Figur 3. 28 Regresjonslinjen for $LN(Lu_{norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie C04.....	35
Figur 3. 29 Svekningkoeffisienten KLu for måleserie C04.....	36
Figur 3. 30 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten KLu (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik(rød graf).	37
Figur 3. 31 Total reflektert radians L_r for måleserie C04, normalisert versjon.	37
Figur 3. 32 Total reflektert radians L_r , normalisert versjon, for alle måleserier.	38
Figur 3. 33 Totalreflektansen L_r/Ed normalisert versjon for alle måleserier.	39
Figur 3. 34 Forholdet Lw/Lu_{total} normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.	40
Figur 3. 35 Water-leaving reflectance ekstrahert direkte ut ifra MERIS L2 data.	41

Figur 3. 36 Water-leaving radiance ekstrahert fra L1b MERIS data og water-leaving radiance beregnet ut ifra in-situ målinger.	41
Figur 3. 37 Det relative standardavviket for <i>Lu luft</i> for måleserie C04.	42
Figur 3. 38 Det relative standardavviket for <i>Lu</i> i vann for måleserie C04.	42
Figur 3. 39 Det relative standardavviket for <i>Ed</i> for måleserie C04.	43
Figur 3. 40 Oppadgående radians <i>Lu</i> normalisert mot <i>Ed maks</i> for ulike dybder i vann for måleserie B09.	45
Figur 3. 41 Oppadgående radians <i>Lu tilt</i> for ulike dybder i vann for måleserie B09.	46
Figur 3. 42 Oppadgående radians <i>Lu</i> for ulike dybder i vann for måleserie B09, ikke normalisert versjon.	46
Figur 3. 43 Nedadgående irradians <i>Ed</i> i luft for måleserie B09. Målingene er gjort i samme tidsrom som for <i>Lu</i>	47
Figur 3. 44 Oppadgående radians <i>Lu</i> i luft for måleserie B09, både normalisert og ikke normalisert.	47
Figur 3. 45 Regresjonslinjen for $LN(Lu\ norm)$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie B09.	48
Figur 3. 46 Regresjonslinjen for $LN(Lu\ norm)$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie B09.	49
Figur 3. 47 Svekningskoeffisienten <i>KLu</i> for måleserie B09.	49
Figur 3. 48 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten <i>KLu</i> (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik (rød graf).	50
Figur 3. 49 Total reflektert radians <i>Lr</i> for måleserie B09, normalisert versjon.	51
Figur 3. 50 Total reflektert radians <i>Lr</i> , normalisert versjon, for alle måleserier.	52
Figur 3. 51 Totalreflektansen normalisert versjon for alle måleserier.	53
Figur 3. 52 Forholdet $Lw/Lu\ total$ normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.	54
Figur 3. 53 Det relative standardavviket for <i>Lu luft</i> for måleserie B09.	54
Figur 3. 54 Det relative standardavviket for <i>Lu</i> i vann for måleserie B09.	55
Figur 4. 1 Gjennomsnittet av svekningskoeffisienten <i>KLu</i> for hver av alle tokt dagene.	57
Tabell 3. 1 Oversikt over måleserier for toktet den 6.mai 2010.	61
Tabell 3. 2 Oversikt over måleserier for toktet den 7.mai 2010.	61
Tabell 3. 3 Oversikt over måleserier for toktet den 25.juni 2009.	61

1 Innledning

Optisk oseanografi er en gren av oseanografi der man ser på havet fra et optisk perspektiv. Målinger av radians og irradians fra sol og himmel har lenge vært en velkjent metode i optisk oseanografi. In situ lysfeltet er påvirket både av absorpsjon og spredning grunnet ulike substanser og livsformer i havet som fytoplankton, gulstoff, oppløst materialer, forurensinger og vannets optiske egenskaper i seg selv. (Jerlov, 1976)

De første studiene av radians er datert tilbake til 1885 da Fol og Sarasin eksponerte fotografiske plater i Middelhavet utenfor Cote d'Azur. Knudsen(1920)** skapte oppsikt da han senket en spektrograf sammen med fotografiske opptaksmetoder, som var den første vellykkede målingen av spektral radians på ulike havdyp. (Jerlov, 1976)

I ettertid har det vært en rivende utvikling, og i dag har det blitt utviklet moderne instrumenter som for eksempel Trios RAMSES som måler radians og irradians over et større spekter. Dette gir et mye mer helhetlig bilde av radiansmålingene generelt.

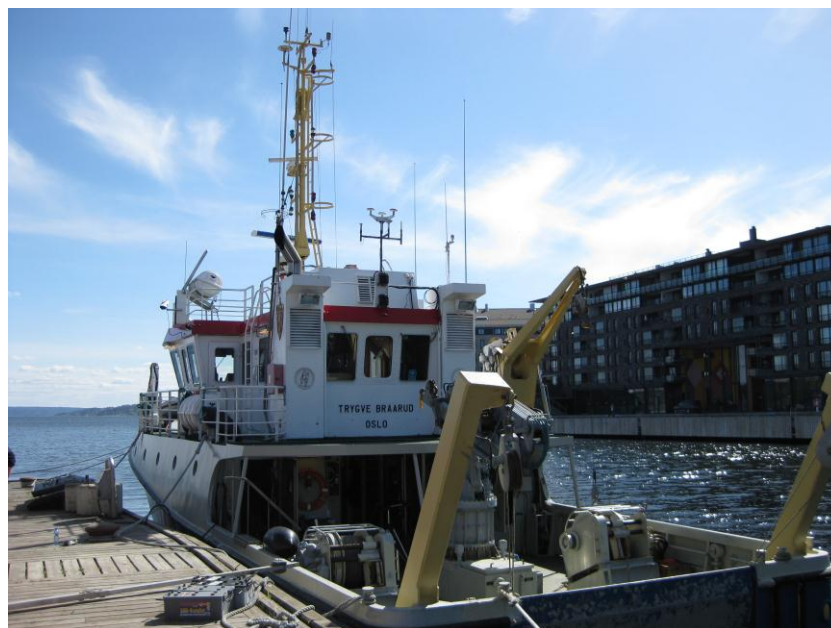
Gjennom optiske målinger av havet kan man undersøke utbredelsen av de ulike substansene og livsformene som påvirker vannkvalitet, farge på vannet osv. Dette er viktig for blant annet fiske- og turistindustrien.

Fjernmåling av fargen til vannet fra skip er også et viktig verktøy for validering av satellittprodukter, for eksempel målinger foretatt med MERIS sensoren på satellitten ENVISAT. (Aas, 2010)

En av flere viktige oppgaver for The European Space Agency (ESA) er å bruke satellitter til overvåkning av forholdene i havet. Et nødvendig hjelpemiddel for å forbedre metodene er å validere ESAs produkter i felten. Noen av mulighetene vil være å foreta enkeltmålinger fra forskningsfartøyer eller ved hjelp av fastmonterte instrumenter på ferger og andre skip. Sistnevnte metode har den fordel at den kan samle inn data over lange tidsserier over et stort geografisk område. Problemet for de fastmonterte sensorene vil være at de måler både det lyset som kommer opp fra sjøen så vel det lyset fra sol og himmel som blir reflektert fra havoverflaten.

Det sistnevnte bidraget vil avhenge av bølgelengde, vindstyrke og – retning og solens stilling på himmelen. Oppgaven går ut på å finne metoder for å estimere bidraget fra sol og himmel med god nøyaktighet, slik at de kan trekkes ifra totalsignalet og gi det resterende bidraget som kommer fra sjøen. Dette siste bidraget kan så sammenlignes med de tilsvarende størrelser som er beregnet ut fra satellittobservasjoner, f.eks. MERIS sensoren på satellitten Envisat. Løsningsmetoden vil være å finne pålitelige verdier for det oppoverspredte lyset som kommer fra undersiden av havoverflaten. Dette kan bare oppnås ved å gjøre målinger under vann, og ekstrapolere disse signalene opp til havoverflaten og deretter beregne hvor mye som transmitteres gjennom overflaten. Under metodebeskrivelsen vil det bli nærmere gjort rede for hvilke metoder som er brukt for å finne de ulike estimatene.

Oppgaven er en mindre del av et større arbeid der man prøver å finne robuste metoder for korreksjon av fergemålinger. Midler som støtter prosjektet er gitt av ESA og Norsk Romsenter til NIVA, som igjen samarbeider med MetOs ved UiO og Høgskolen i Narvik. En gruppe på NIVA(Sørensen, Folkestad, Høkedal) har over flere år samarbeidet med MetOs(Aas) på prosjekter som VAMP, REVAMP, VAMP2 og CoastColor knyttet til validering av satellittprodukter. NIVA og MetOs har hatt de nødvendige instrumenter så vel som tilgang til UiOs forskningsfartøy Trygve Braarud som var nødvendig for å foreta målinger ute i felten under utarbeidelsen av oppgaven.



Figur 1. 1 Forskningsfartøyet Trygve Braarud til Universitetet i Oslo.

2 Metodebeskrivelse

2.1 Instrumentbeskrivelse

Måling av lys er en velkjent metode i marin optikk. Hyperspektrale radiometre spiller en viktig rolle i valideringen og kalibreringen av satellitt data. SeaWIFS og MERIS er blant to av flere sensorer på satellitter som er tilgjengelig for ocean colour målinger og behovet for referanse målinger er økende, selv langs kysten.

På dette området er hyperspektrale radiometre å foretrekke og mer fleksible fremfor radiometre med diskret båndfilter som normalt kun kan brukes mot en spesifikk satellitt grunnet forskjell i deteksjonsbølgelengde.

TriOS instrumenter som er benyttet under feltarbeidet i denne oppgaven er utviklet for å møte kravene i forbindelse med referansesemålinger.

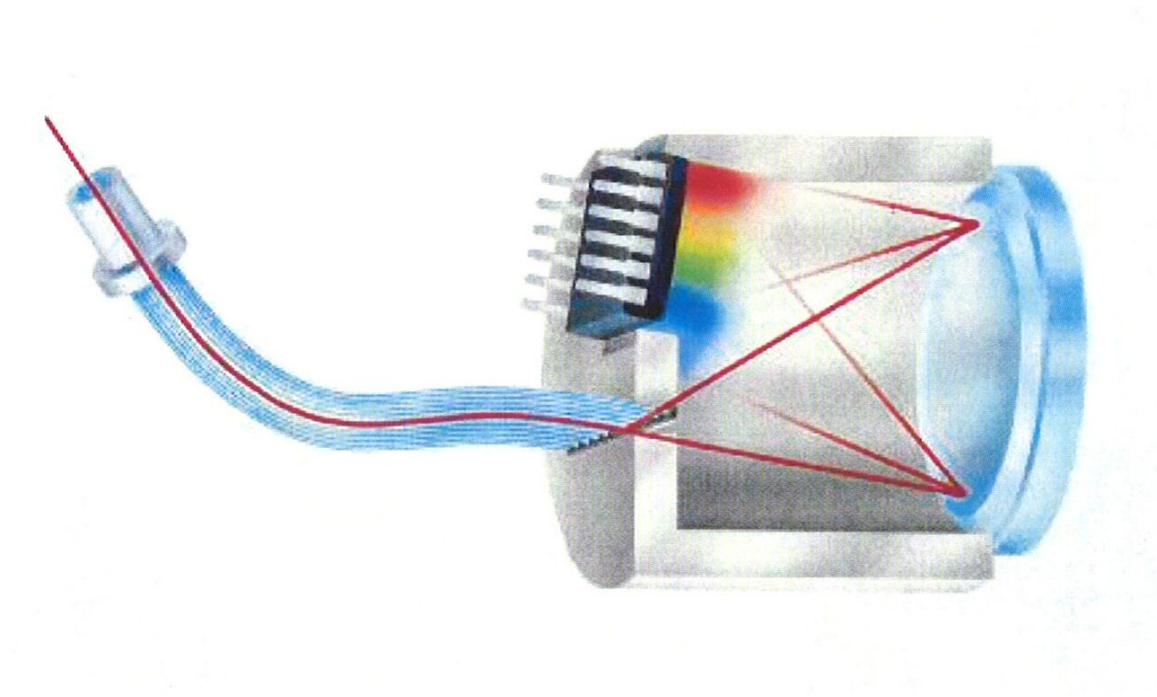
Instrumentenes egenskaper omfatter blant annet:

- Høyoppløslig hyperspektral deteksjon fra 280-950nm
- Kombinasjon av mange sensorer i ett og samme system (mer enn 200)
- Ulike instrumenter kan kombineres med hverandre som f.eks. fluorometre, transisjonsmetre, etc.
- Sensorer med ulike deteksjonsegenskaper for målinger av ulike parametere, som radians og irradians.
- Lav energibruk gjør instrumentet velegnet for håndholdt eller fastmonterte applikasjoner
- Modulære oppsett for tilpassede sensorkonfigurasjoner
- Operativ ned til 300m dyp
- Et stort utvalg av tilbehør som datalogger, strømtilførsel, rammer, kalibreringsenheter etc.

Alle RAMSES enheter kobles til via en RS232 seriell port. Hver enhet kan enten kobles til hver for seg eller sammen som en pakke. Instrumentene har også en innebygget mikrokontroller som tillater ulike integrasjonstider, som enten stilles inn manuelt eller automatisk for å garantere optimale målinger i enhver situasjon. TriOS MSDA softwaren til PC identifiserer og installerer de ulike instrumentene automatisk.

Instrumentenes optikk og virkemåte

TriOS sine RAMSES hyperspektral radiometre er basert på den svært miniaturisert monolittiske spektrometer modul fra ZEISS. Under har vi en figur som viser den optiske layoutet til TriOS radiometre.



Figur 2. 1 Det optiske layoutet til TriOS radiometre.

Lyset blir detektert av en optisk fiber bunt bestående av 30 enkle fibre som gir en total diameter på 0,5mm. På inngangssiden av polychromatoren er disse fibre ordnet i lineær rekkefølge. Det innkommende lyset blir delt inn i enkeltfarger av et holografisk rutenett montert på bunnen av modulen og blir detektert av en 256 kanals fotodiode array.

Alle påkrevde signaler for å kontrollere fotodiode arrayet og lese utdata er generert og kontrollert med miniaturiserte elektroniske kretskort inne i sensorene.

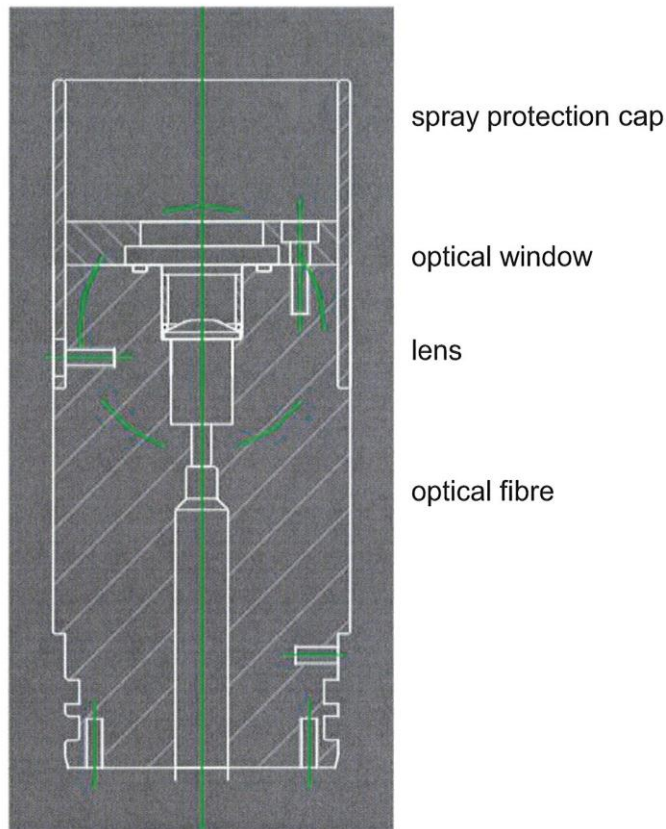
En annen viktig faktor som spiller inn når man måler lys ute i naturen er en nøyaktig behandling av mørkestrømsspektrene i instrumentene, som under normalt bruk påvirkes av temperatur og valgt integrasjonstid.

RAMSES-ARC: hyperspektral radians

Det optiske systemet er bygd opp av et optisk fiber og en linse(smeltet silisiumdioksid).

Synsfeltet (FOV) er definert som posisjonen av fiberet i relasjon til brennpunktet til linsen. I

instrumentenes standardoppsett er fiberet montert nærmere linsen enn brennvidden, noe som gir 7 grader FOV i luft. Under har vi en figur som viser det optiske oppsettet av en RAMSES-ARC radians sensor.



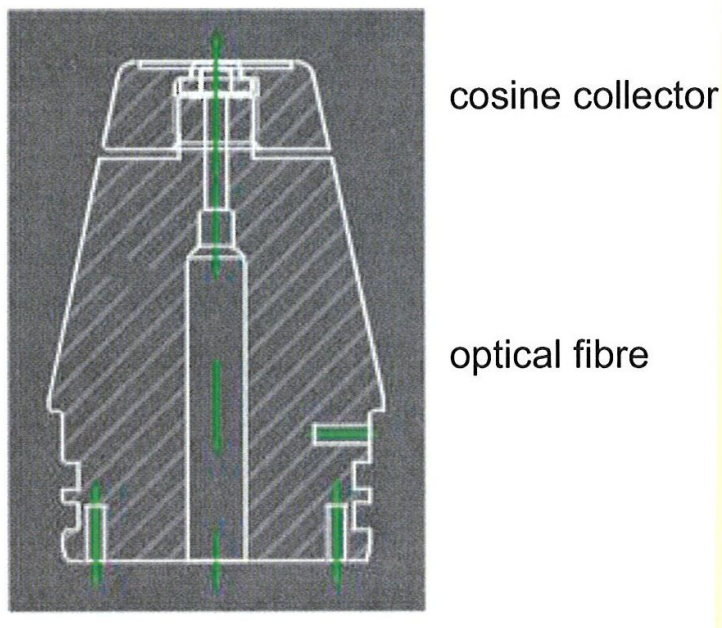
Figur 2. 2 Det optiske oppsettet av en RAMSES-ARC radians sensor.

Hetten som vises øverst på figuren over brukes for å redusere påvirkningen av sjøsprøyt når man foretar målinger over vannflaten. Denne bør fjernes når man foretar målinger under vann.

RAMSES-AAC: hyperspektral irradians

Det optiske systemet er bygd opp slik at lys samles på en plan diffusor og detekteres av et optisk fiber. Oppsettet har et design som gjør at vinkel deteksjonskarakteristikken følger en cosinus funksjon. Sensoren brukes både i over og i vann målinger. Det er viktig å bruke korreksjonsfaktor når man foretar målinger i vann. Instrumentet leveres med to kalibreringsfiler, en for vann og en for luft.

Under har vi en figur som viser det optiske oppsettet av RAMSES-AAC irradians sensor.



Figur 2. 3 Det optiske oppsettet av RAMSES-AAC irradians sensor.

Alle TriOS RAMSES sensorer leveres med en SUBCONN 5-pin undervanns tilkobler. En PUR-SUB-M8 kabel brukes for å koble hver sensor til en strømforsyning. Under toktene ble strømforsynings- og grensesnitt enheten IPS104 brukt sammen med en PC. IPS104 gjør det mulig å koble flere instrumenter til samme enhet, og enheten er igjen koblet til en PC med MSDA_XE programvare. MSDA_XE vil automatisk i gjenkjenne sensoren med gjeldende konfigurasjon og vil koble den til datamaskinen.



Figur 2. 4 En irradians sensor til høyre og en radians sensor til venstre.

Sensorene bør jevnlig rengjøres etter bruk, spesielt det optiske glasset som er viktig for å gjøre korrekte målinger.

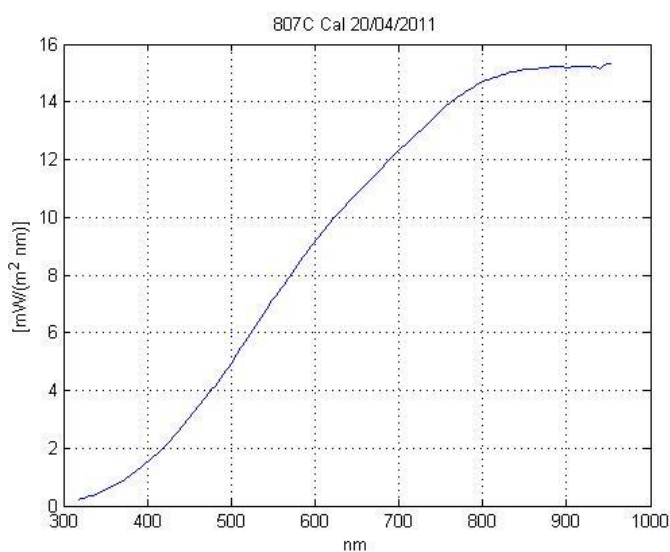
TriOS sensorene leveres også med kalibreringsfiler. Disse benyttes blant annet i MSDA_XE for å kalibrere luft og vann målinger.

Over tid er sensorene stabile, men fra produsenten anbefales det å ta en fabrikk rekalkibrering årlig. En hver enkelt bruker kan også benytte TriOS FieldCAL for å kalibrere instrumentene. (TriOS, 2004)

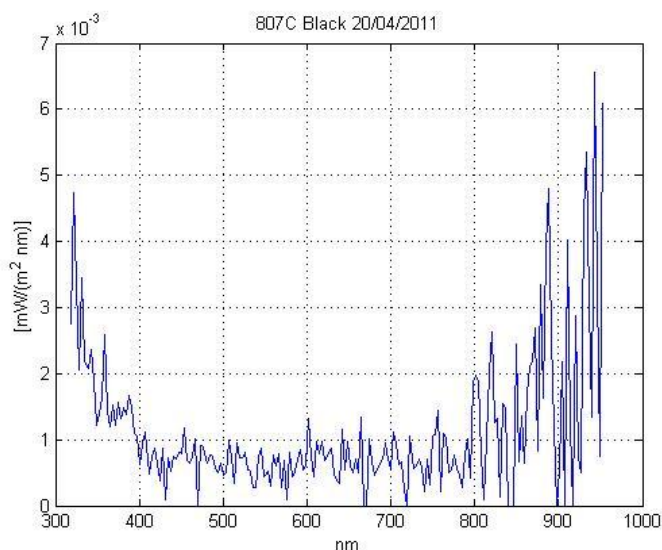
2.2 Kalibrering av instrumenter

Kalibrering vil si å sammenligne to sensorer opp mot hverandre, der den ene sensoren har en kjent størrelse gjort med fabrikkkalibrering, mens den andre sensoren sammenlignes opp mot denne. På den måten vil det være mulig å se eventuelt hvor stort avvik det ene instrumentet vil ha i forhold til det kalibrerte.

Det er viktig å sjekke et hvert instruments kalibreringsspekter og mørkespekter for å undersøke om de har store avvik. Et eksempel på kalibreringsspekter og mørkespekter er vist i figur 2.5 og 2.6 fra kalibreringen den 20.april 2011 på NIVA.



Figur 2. 5 Kalibreringsspekter til irradianssensoren 807C



Figur 2. 6 Mørkestrømspekteret til irradianssensoren 807C

Kalibrering av TriOS sensorene er viktig å utføre for å sjekke om de fungerer som de skal. Som beskrevet under instrumentbeskrivelsen bør sensorene sendes inn til fabrikk kalibrering en gang årlig.

Under juni toktet i 2009 og mai toktene i 2010 var det rutine å sjekke instrumentene opp mot en feltlampe før målingene startet. Dette var en grei metode for å finne ut om instrumentene fungerte som de skulle.

NIVA har hatt tre sensorer inne til fabrikk kalibrering i løpet av det siste året, og planen videre er å bruke disse sensorene som fasit opp mot de andre sensorene. Og man har tenkt til å gjøre nye kalibreringer ved hjelp av en kalibreringsbenk som er montert opp på labben på NIVA. (Kai Sørensen, Medveileder)

2.3 Innhenting og prosessering av måledata

TriOS RAMSES sensorene som ble beskrevet under instrumentbeskrivelsen er de instrumentene som ble benyttet under toktene til NIVA ombord på Universitet i Oslo sitt forskningsfartøy Trygve Braarud. Under disse toktene ble disse sensorene plassert både på dekk ombord og i et stativ som kunne senkes ned i vann.

I figurene 2.7 og 2.8 ser man hvilket oppsett som ble benyttet under mai toktene i 2010.



Figur 2. 7 To radians sensorer fastmontert i stativ frempå baugen styrbord side av Braarud.



Figur 2. 8 En irradians sensor som måler lys fra sensit, en radians sensor nadir og en radians sensor tiltet en bestemt vinkel i forhold til nadir.

Stativet i figur 2.8 ble brukt til å gjøre målinger rett over vannflaten og nedover i ulike dyp. Målinger ved hvert dyp ble foretatt med et bestemt tidsintervall, for eksempel 1 minutt og i 2010 ble målingene foretatt ned til 3 meters dyp, med 0,5m mellomrom.

Dette kan defineres som en måleserie der tidsperioden det tar å gjøre målinger i luft og ned til en bestemt dybde foretas. Iløpet av hver toktdag ble det foretatt flere måleserier, og dette kan være med på å gi et helhetlig bilde av hvordan lysspektrene varierer med solens posisjon på himmelen.

Alle TriOS instrumentene er koblet opp mot en IPS104 strømtilførsel og denne er igjen koblet til en bærbar PC med MSDA_XE programvare installert. Denne programvaren som tidligere beskrevet identifiserer sensorene automatisk og gjør det enkelt å ta sensorene i bruk.

Måledataene blir lagret i Microsoft Database format(mdb) i MSDA_XE, og under målingene er det svært viktig å loggføre tidsintervallene når man foretar målinger på ulike dyp. Ved måleserien som foretas samtidig med ENVISAT satellitt passasjen er det viktig å notere den geografiske posisjonen (GPS posisjonen).

For å behandle rådataene i MSDA_XE programvaren kan man konvertere mdb filene til MATLAB formatet mlb, og da er det viktig å bruke riktige kalibreringsfiler. For målinger i luft brukes luftkalibreringsfilene, og for vann brukes vannkalibreringsfilene.

Etter å ha konvertert filene til mlb format er det nyttig å konvertere disse igjen til et annet MATLAB format, mat format. Dette gjøres ved hjelp av et MATLAB skript der man får skilt ut dataene for hver enkelt sensor inkludert bølgelengde.

Når man har fått konvertert mlb filene til mat filer kan man benytte seg av et nytt MATLAB skript for å sortere datene etter loggen, gjøre nødvendige beregninger og skrive ut de plott man ønsker.

Sistnevnte MATLAB skript brukes som sagt til sortere og behandle måledataene fra toktene. Dataene blir sortert etter måleseriene i henhold til tidsloggen, og deretter blir det tatt medianen av dataene for hver dybde i hver enkel måleserie. Hva som er mest hensiktsmessig å bruke av median og middelværdis filter, er det førstnevnte å foretrekke. Medianfilteret medfører at uteliggere i datasettet har mindre betydning, og plottene blir penere.

Under toktene ble det foretatt målinger av oppadgående radians L_u i vann og i luft, nedadgående irradians E_d på toppen av forskningsfartøyet og i vann, og nedadgående radians L_d på dekk. For nærmere definisjoner av radians og irradians, se tabell 2.1.

L_u	Oppadgående radians	$mW/(m^2nm\ sr)$
L_d	Nedadgående radians	$mW/(m^2nm\ sr)$
E_d	Nedadgående irradians	$mW/(m^2nm\)$
L_w	Water-leaving radiance	$mW/(m^2nm\ sr)$
L_r	Total reflektert radians	$mW/(m^2nm\ sr)$

Tabell 2. 1 De ulike definisjonene for radians og irradians.

Plott av medianen til L_u og E_d er de som er mest hensiktsmessig å lage i første omgang. Eksempler på disse to plottene er gitt i figur 3.1 og 3.4 i delkapittel 3.1.

Neste steg på veien vil være å normalisere radiansverdiene opp mot maksspekteret til E_d innenfor hver måleserie. Maksspekteret til E_d vil si for det tidsintervallet innenfor en måleserie irradiansspekteret har sin største gjennomsnittlige verdi. Om det er hensiktsmessig å normalisere er et åpent spørsmål, mer om dette i delkapittel 3.1.

Ved normalisering av L_u bruker man følgende formel:

$$(2.1) L_{u \text{ norm}} = \left(\frac{L_u(z)}{E_d(z)} \right) * E_{d \text{ maks}}$$

Veien videre vil være å finne overflateverdien for L_u ved å ekstrapolere fra et dybdeintervall. Det første steget på veien vil være å beregne $LN(L_u)$ for alle medianverdiene til L_u , deretter er den beste løsningen å bruke lineær regresjon på verdiene for eksempel fra 1 til 2 meters dyp for å finne overflateverdien av $LN(L_u)$. Stigningstallet til regresjonslinjen er svekningskoeffisienten K_{L_u} til L_u . Til slutt beregnes $\exp(LN(L_u))$ for å finne overflateverdien $L_u(0)$.

Ved å bruke formelen

$$(2.2) L_w = 0,545 * L_u(0) \text{ (Moblely, 1999)}$$

kan man finne water-leaving reflectance. Ved å subtrahere L_w fra $L_{u \text{ total}}$ finner man total reflektert radians.

$$(2.3) L_r = L_{u \text{ total}} - L_w = L_{u \text{ luft}} - L_w \text{ (Moblely, 1999)}$$

$L_{u \text{ total}}$ er det samme som L_u målinger foretatt i luft rett over vannflaten.

De plottene som vil være av størst interesse vil være av L_u , E_d , ekstrapolering av $LN(L_u)$, svekningskoeffisienten K_{L_u} , L_r , totalreflektansen L_r/E_d og forholdet $L_w/L_{u \text{ total}}$.

Sistnevnte forhold er viktig fordi hvis $L_w/L_{u \text{ total}} \ll 1$, kan $L_r \approx L_{u \text{ total}}$. Dette gjelder spesielt for veldig høye og veldig korte bølgelengder. (Eyvind Aas, hovedveileder)

En nærmere beskrivelse av hva de ulike plottene viser, se kapittel 3 Resultater og diskusjon.

2.4 Behandling av MERIS satellittdata

1.mars 2002 ble ESA's miljøsatellitt ENVISAT skutt opp i bane rundt jorda. Ombord ENVISAT er det montert flere instrumenter, deriblant MERIS sensoren(Medium Resolution Imaging Spectrometer). MERIS er et spektrometer som måler reflektert solstråling fra jorda. Hovedbeskjeftigelsen til instrumentet er å måle spektralreflektansen i havet. MERIS har en høy spektral- og radiometrisk oppløsning og en dobbel romlig oppløsning (300m og 1200m) med hovedformål å gjøre målinger på åpent hav, kystsoner og regionale landmålinger. Instrumentet har 15 spektralbånd i det synlige- og nær infrarøde delen av lysspekteret, der man kan programmere både bredde og posisjon av spektrene. Spektralbåndene strekker seg fra 390nm til 1040nm, og MERIS oppnår global dekning hver tredje dag. Med nåværende kunnskap om havets spektralreflektanse er det mulig å konvertere målingene til klorofyll-, CDOM- og gulstoff konsentrasjoner i havet. Water-leaving reflectance er også av stor interesse når man sammenligner in-situ målinger foretatt fra skip med satellitt målinger.

(Peters et.al, 2005)

I behandlingen av dataene fra MERIS instrumentet på ENVISAT er det blitt utviklet en programvare som BEAM fra Brockmann Consult. Opprinnelig ble denne utviklet spesielt for MERIS sensoren, men støtter idag flere sensorer som f.eks. MODIS, ATSR, PRISM osv. BEAM er programmert i JAVA, er åpen kildekode og støtter flere plattformer som Windows, MacOS, Linux og andre operativsystemer.

(Brockmann Consult, The BEAM project, 2011)

Ved hjelp av BEAM programvaren kan man ekstrahere ut water-leaving reflectance fra MERIS dataene.

Water-Leaving Reflectance er definert som $\rho_{wlr} = L_{u_air} / E_{d_deck}$, der L_{u_air} oppadgående radians målt i luft og E_{d_deck} er nedadgående irradians målt oppe på dekk på skip.

(Sørensen et.al, 2007)

Det finnes to metoder å ekstrahere ut WLR. Den ene metoden er å ekstrahere ut piksel verdier rundt en bestemt geografisk posisjon fra MERIS L2 data. Denne metoden er å foretrekke fremfor den mer tidkrevende metoden ved å kjøre ulike prosesser for å beregne WLR ut ifra TOA(Top of the Atmosphere) reflektanse fra L1 data. Hvilken av de to metodene som er best

å bruke avhenger blant annet av atmosfæreforhold og tid på året.

MERIS L1 data er basert på TOA(Top Of Atmosphere) kalibrert radians målt i $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$. Disse er kalibrert både radiometrisk og geolokalisert.

MERIS L2 data inneholder både geofysiske geolokaliserte parametre og overflate radians/reflektanse avhengig av overflate.

(MERIS data products, 2011)

For å ekstrahere piksel verdier fra MERIS data er det viktig å ha den geografiske posisjonen der in-situ målingene ble foretatt. Rundt ett piksel er det viktig å ekstrahere nabopiksel verdiene også for å få mest mulig pålitelige verdier. Under NIVA toktet i 2003 valgte man å bruke en 3x3 piksel matrise rundt hvert piksel. (Sørensen et.al, 2007)

Den første metoden er å ekstrahere water-leaving reflectance direkte fra L2 dataene. Dette gjøres ved å eksportere 3x3 piksel verdier for hvert piksel som man har behov for. Resultatet kan enkelte ganger vise negative water-leaving reflectance verdier. Metoden for å ekstrahere ut WLR fra L1 data kan da være et godt alternativ men noe mer tidkrevende. Det første steget på veien vil være å avgrense området man ønsker å kjøre ICOL(Improve Contrast between Ocean and Land) prosess på. Formålet med ICOL prosessoren er å korrigere for økt utstråling som følge av spredning og refleksjon av fotoner i MERIS L1 data.

(Brockmann Consult, BEAM plug-ins, 2011)

Etter ICOL kjøringen kan man kalkulere water-leaving reflectance fra L1 dataene ved å kjøre en C2R(Case 2 Regional) prosess. Denne prosessen kalkulerer optiske egenskaper og konsentrasjoner av vann bestandsdeler ut ifra L1 toppen av atmosfære radians data.

Pikselverdiene fra denne metoden ekstraheres på samme måte som for L2 dataene, det vil si 3x3 piksel verdier ved det gitte punkt.

(Brockmann Consult, MERIS Regional Case 2 Water Algorithms (C2R), 2011)

En nærmere beskrivelse av resultatene fra disse metodene kommer i kapittel 3 Resultater og diskusjon.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Tøktet 6.mai 2010

Under tøktet den 6.mai ble det brukt seks RAMSES sensorer fra TriOS. En irradianssensor ble brukt til å måle nedadgående irradians fra senit oppe på taket av Braarud. To irradianssensorer montert i stativ på styrbord side frem på baug ble brukt til å måle nedadgående og oppadgående irradians fra bestemte vinkler fra nadir og senit. To irradianssensorer og en irradianssensor i stativ som senkes i vann ble brukt til å måle henholdsvis oppadgående irradians fra nadir, oppadgående irradians fra en bestemt vinkel nadir og nedadgående irradians fra senit.

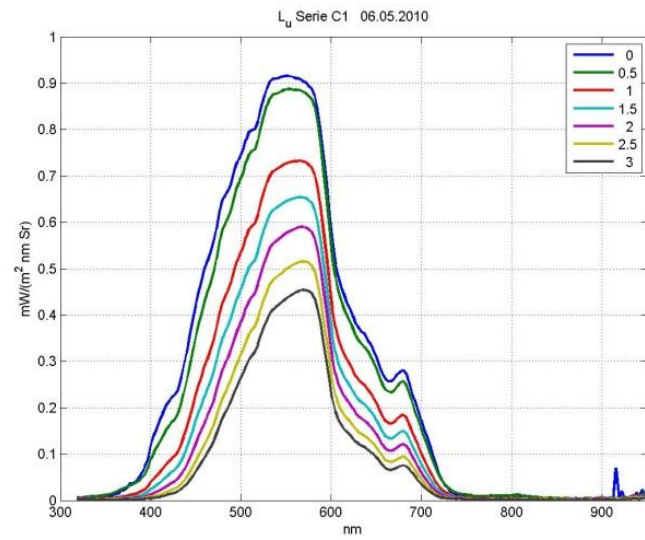
Målingene ble gjort i Lysakerfjorden i indre Oslofjord, og sjøvannet i denne fjorden er av type 2, der komponenter som gulstoff, CDOM og TSM er de dominerende komponentene.

Under denne tøktedagen ble det for hver måleserie først gjort målinger i luft, og deretter i vann ned til 3,0m dyp med 0,5m intervall. Det ble foretatt 3 måleserier den 6.mai. For nærmere detaljer rundt de ulike måleseriene, se tabell 3.1 i Vedlegg.

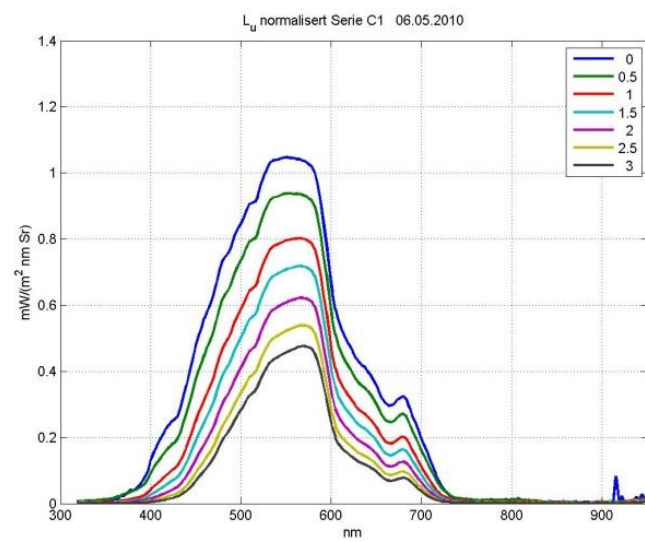
Det er den totale reflekterte irradiansen L_r og forholdet mellom water-leaving radiance L_w og total oppadgående irradians $L_{u\ total(luft)}$ som er estimatene vi er på jakt etter. Det vil være av størst interesse å se nærmere på L_u i første omgang. For å få en bedre forståelse av prosesseringen er det hensiktsmessig med en nærmere gjennomgang av de ulike stegene for å komme frem til de ulike estimatene.

Måleserie C01 den 6.mai ble foretatt i tidsrommet fra 13:16:30 til 13:30:10 og målingene ble som tidligere nevnt foretatt ned til 3,0m dypde.

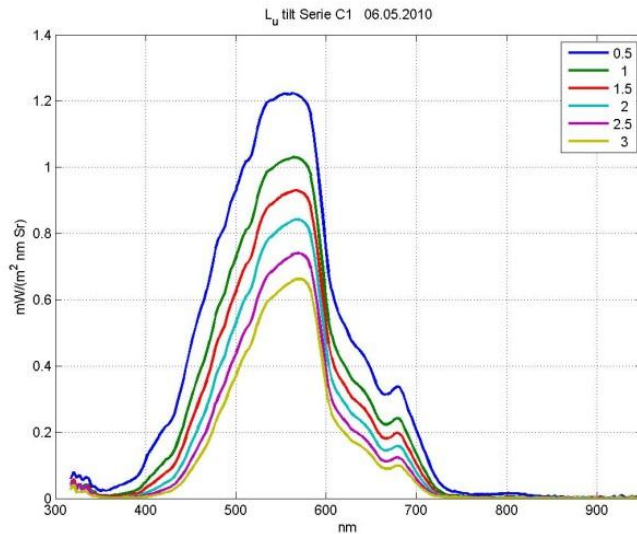
Den oppadgående irradiansen L_u for ulike dyp, både ikke normalisert og normalisert versjon vises i figur 3.1 og 3.2. I figur 3.3 er det plottet opp de ikke normaliserte verdiene for $L_{u\ tilt}$. Disse målingene er ikke korrigert med hensyn på vinkel, men målingene for de ulike dypene ligger noe høyere enn de ikke normaliserte verdiene til L_u . For eksempel ligger 0,5m verdien på $1,2mW/(m^2nm\ sr)$ ved 560nm bølgelengde, mens for L_u ikke normalisert ligger verdien på $0,89mW/(m^2nm\ sr)$, en differanse på 0,31.



Figur 3. 1 Oppadgående radians L_u for ulike dybder i vann for måleserie C01.



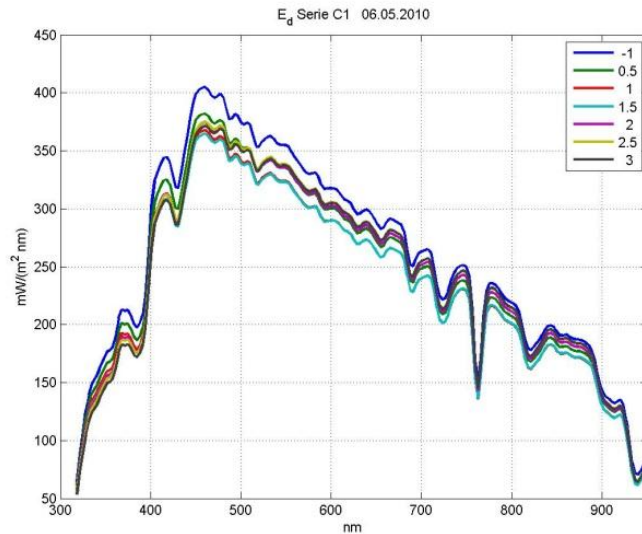
Figur 3. 2 Oppadgående radians L_u normalisert mot $E_{d maks}$ for ulike dybder i vann for måleserie C01.



Figur 3. 3 Oppadgående radians $L_{u \text{ tilt}}$ for ulike dybder i vann for måleserie C01.

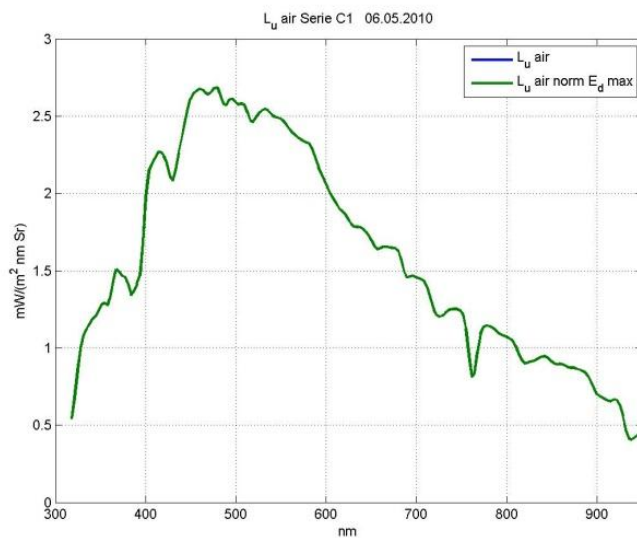
Ved første øyekast viser figur 3.2 at verdiene for $L_{u \text{ normalisert}}$ er noe høyere enn de ikke normaliserte verdiene for L_u i Figur 3.1. For det ikke normaliserte plottet er 0m verdien for bølgelengden 552nm på $0,92 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$, mens for det normaliserte plottet er verdien $1,05 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$, det vil si en differanse på 0,13. $L_{u \text{ norm}}$ er også størst på 3m dybde med en verdi på $0,46 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$, mens for det ikke normaliserte plottet for L_u er verdien $0,42 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$, det vil si en differanse på bare 0,04. Normaliseringen avhenger av maksspekteret til irradiansen E_d som er vist i figur 3.4, der maksspekteret til E_d er målt i samme måleintervall som L_u i luft. Maksspekteret til E_d har her sin maksverdi på $405 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm})$ ved 461nm.

I de andre måleserier kan L_u være større enn $L_{u \text{ normalisert}}$, det avhenger av maksspekteret til E_d som varierer fra måleserie til måleserie. I måleserie C01 får plottet til $L_{u \text{ normalisert}}$ et penere og mer oversiktlig utseende, noe som er et godt argument for å normalisere.



Figur 3. 4 Nedadgående irradians E_d i luft for måleserie C01. Målingene er gjort i samme tidsrom som for L_u .

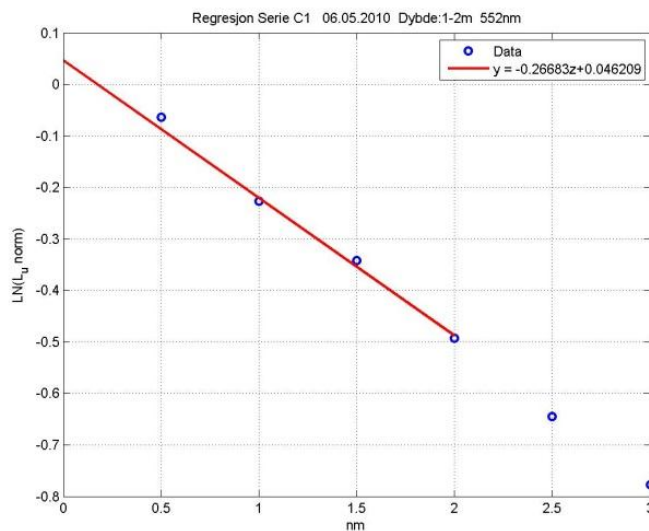
Siden maksspekteret til E_d oppstår i samme tidsrom som målingene foretatt for L_u i luft har vi ingen forskjell mellom L_u og $L_{u \text{ norm}}$ i luft, slik som figur 3.5 viser.



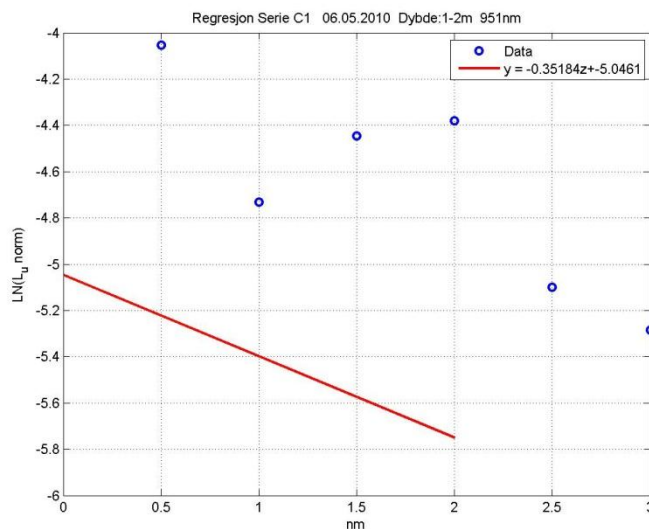
Figur 3. 5 Oppadgående radians L_u i luft for måleserie C01, både normalisert og ikke normalisert versjon.

For å finne overflateverdien av radiansen $L_u(0)$ gitt som 0m verdien i figur 3.1 og 3.2, må det ekstrapoleres fra 1-2m dybde og opp til overflaten. Ved å bruke lineær regresjon på $LN(L_u)$ verdiene ved 1-2 meters dybde kan man enkelt beregne overflateverdien til $L_u(0)$ som beskrevet i metobeskrivelsen.

I figur 3.6 og 3.7 er regresjonslinjen plottet fra 2m dybde og opp til overflaten, og man kan tydelig se at det er en klar lineær sammenheng mellom punktene ved 552nm bølgelengde i figur 3.6. Ved 951nm i figur 3.7 er plottet helt galt. Dette skyldes en feil i MATLAB skriptet som ble oppdaget dagen før innlevering og kunne dessverre ikke rettes opp siden det er av tidkrevende karakter.

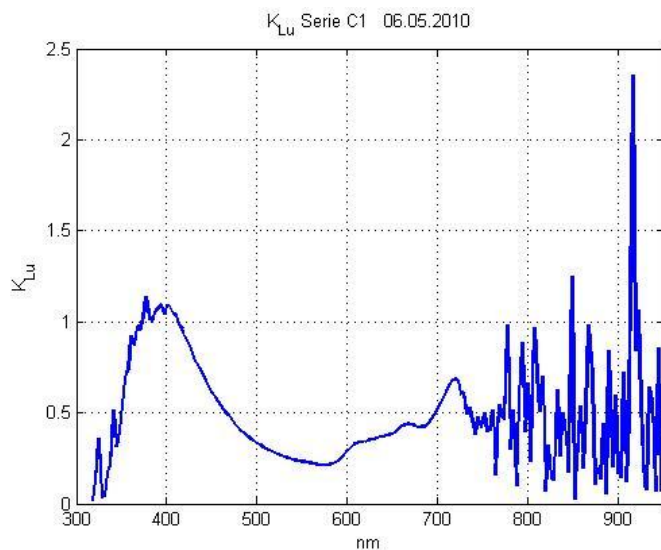


Figur 3. 6 Regresjonslinjen for $LN(L_u \text{ norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie C01.



Figur 3. 7 Regresjonslinjen for $LN(L_u \text{ norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie C01. Regresjonslinjen er feil grunnet feil i MATLAB skript.

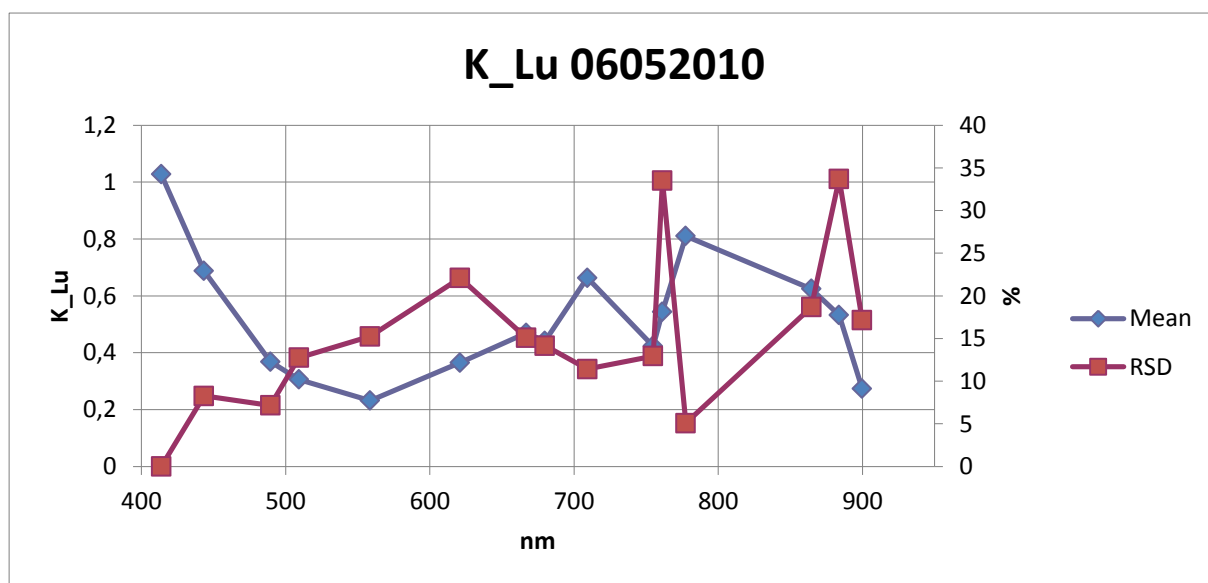
Ved å ta en nærmere titt på svekningskoeffisienten K_{Lu} i figur 3.8 som er stigningstallet til regresjonslinjen kan vi få en bedre oversikt over hvilken størrelse den har gjennom spekteret. Kurven til K_{Lu} er tilnærmet jevn på bølgelengder mellom 400nm og 700nm, mens for bølgelengder mindre enn 400nm og større enn 700nm er uregelmessighetene hyppige, da spesielt for bølgelengder over 700nm. Uregelmessighetene er her av størrelsesorden fra 0,4 til 2,4.



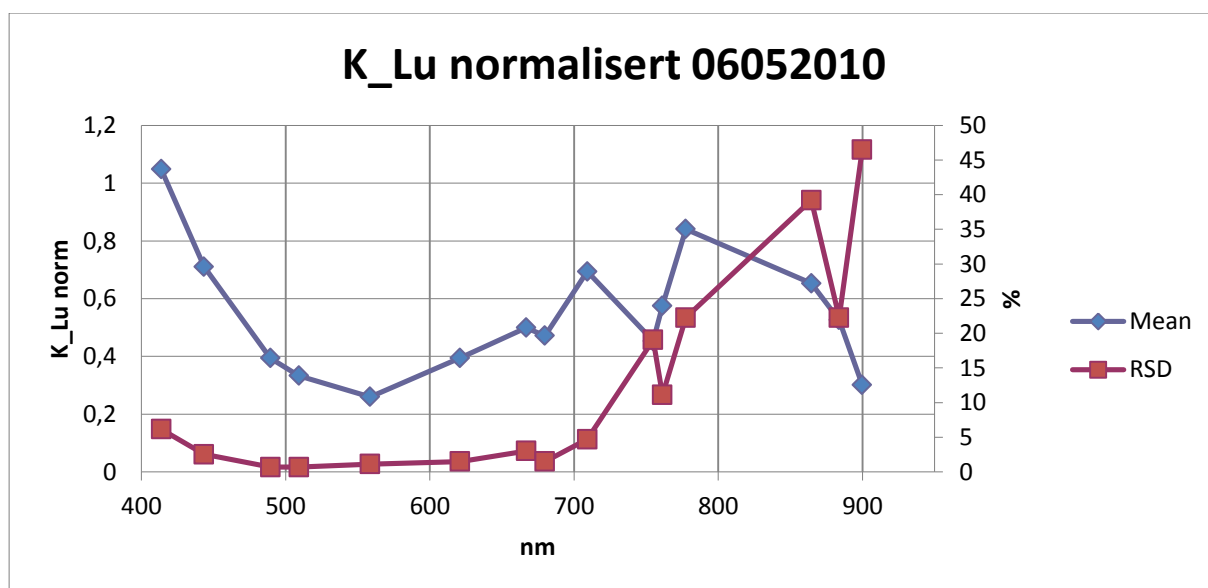
Figur 3. 8 Svekningskoeffisienten K_{Lu} for måleserie C01.

Ved å beregne gjennomsnittet for K_{Lu} for alle tre måleseriene den 6.mai kan det gjøres interessante observasjoner. Figur 3.9 og 3.10 viser gjennomsnittet av K_{Lu} for MERIS kanalene for alle måleseriene den 6.mai både ikke normalisert og normalisert versjon. Ved første øyekast kan det virke som om det ikke er noen forskjell mellom K_{Lu} og $K_{Lu\ norm}$, men størrelsene er litt forskjellige. For 558,5nm får K_{Lu} en verdi på 0,23, mens $K_{Lu\ norm}$ har en verdi på 0,26. Det mest interessante i dette tilfelle er det relative standardavviket(RSD) som i den ikke normaliserte versjonen for K_{Lu} ligger på mellom 0 og 22% for bølgelengder mellom 400 og 700nm, mens for høyere bølgelengder ligger RSD på mellom 5-33%.

For $K_{Lu\ norm}$ er RSD nesten fire ganger mindre for bølgelengdene mellom 400 og 700nm, av størrelsesorden 1 til 6%. For høyere bølgelenger fra 700nm og oppover får man motsatt effekt. Her ligger RSD på mellom 5-46%, noe som er en del høyere enn for den ikke normaliserte K_{Lu} . Normalisering gir altså lavere avvik for bølgelengder på mellom 400 og 700nm.



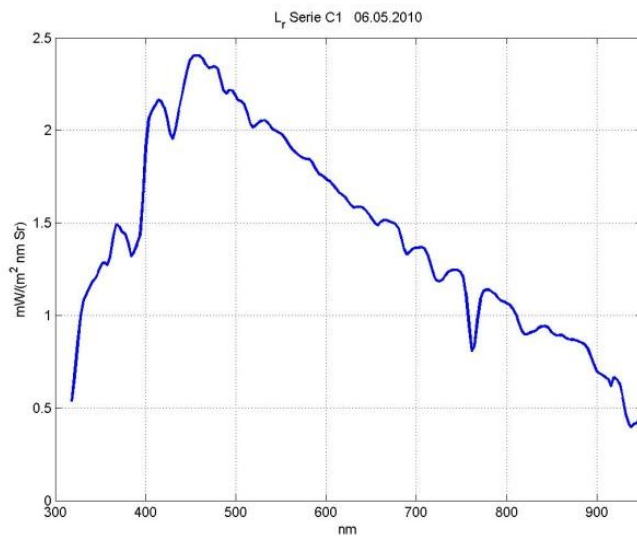
Figur 3. 9 Gjennomsnittet av den ikke normaliserte svekningskoeffisienten K_{Lu} (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik (rød graf).



Figur 3. 10 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten K_{Lu} (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik (rød graf).

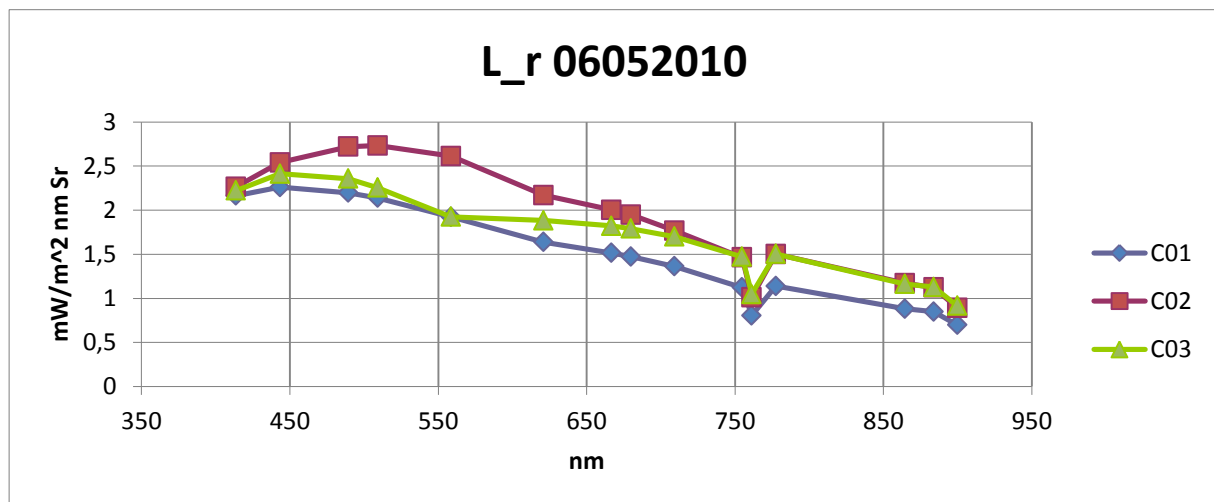
Ved å benytte formelen for total reflektert radians gitt i metodebeskrivelsen $L_r = L_{u \text{ total}} - L_w = L_{u \text{ luft}} - 0,545 \cdot L_u(0)$ kan man enkelt beregne L_r som er estimatet vi er på jakt etter.

For måleserie C01 er L_r ikke normalisert vist i figur 3.11. Kurven til L_r har mange likhetstrekk med kurven til $L_{u\text{ luft}}$ i figur 3.5, men L_r er ca. $0,2\text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$ mindre.

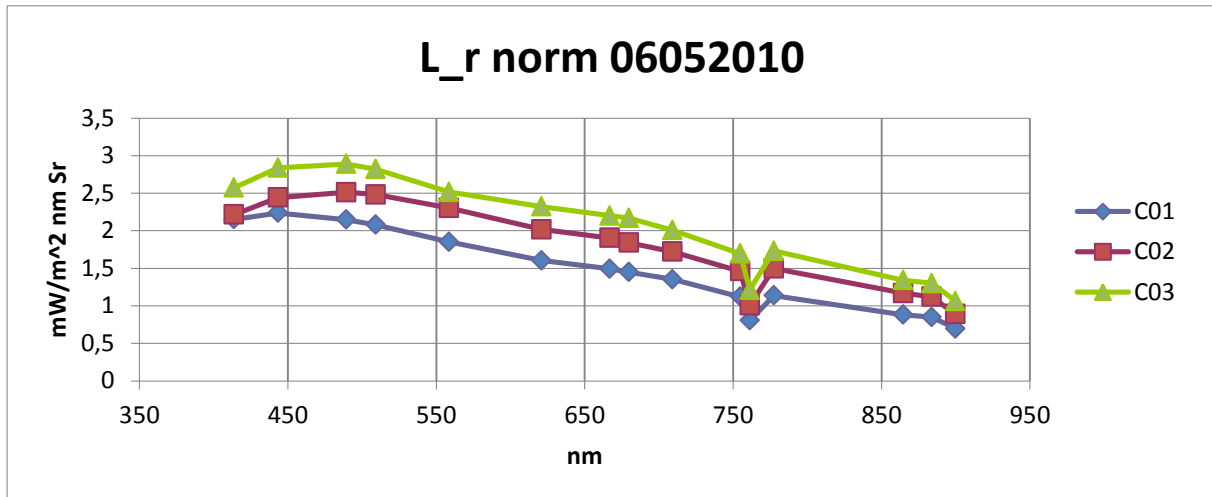


Figur 3. 11 Total reflektert radians L_r for måleserie C01, ikke normalisert versjon.

Ved å sammenligne L_r for alle måleseriene under ett gir dette en bedre oversikt. Figur 3.12 og 3.13 viser L_r for alle måleseriene den 6.mai, både en ikke normalisert og en normalisert versjon.



Figur 3. 12 Total reflektert radians L_r , ikke normalisert versjon, for alle måleserier.

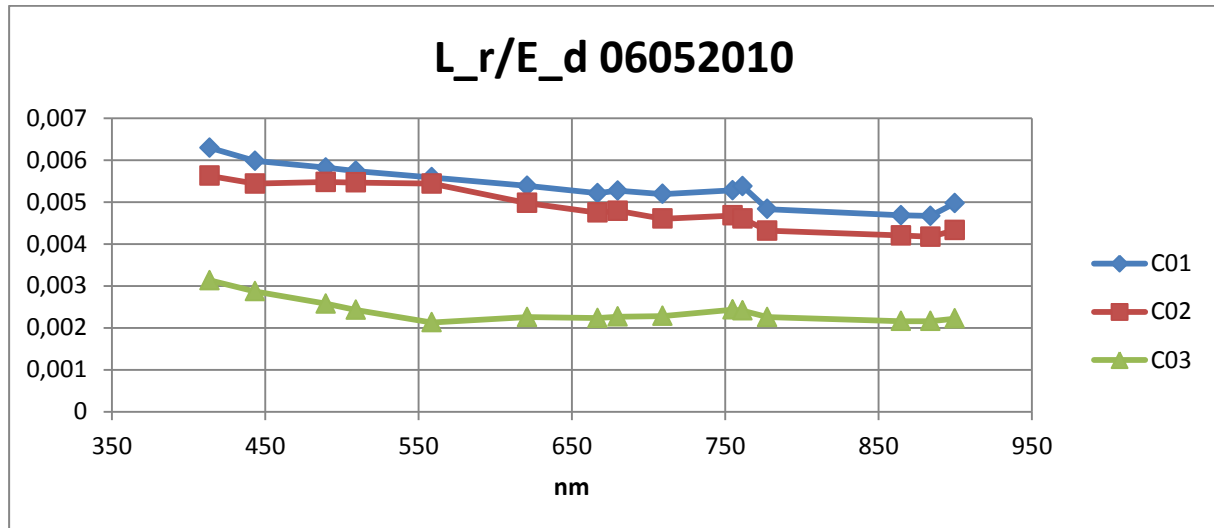


Figur 3. 13 Total reflektert radians L_r , normalisert versjon, for alle måleserier.

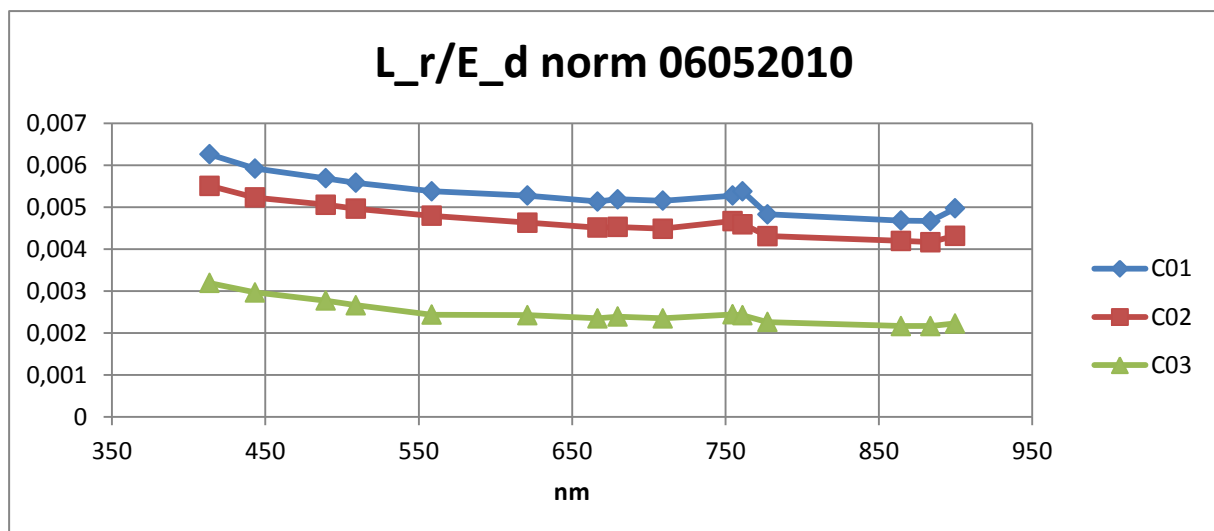
I det ikke normaliserte plottet for L_r er måleserie C02 størst, mens måleserie C01 er minst. Ved bølgelengde 558,5nm har L_r en verdi på $2,61 \text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$ for måleserie C02, for måleserie C01 og C03 er verdien $1,92 \text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$. For det normaliserte plottet er de tilsvarende verdiene for måleserie C01 $1,85 \text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$, for serie C02 er verdien $2,30 \text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$ og for serie C03 er verdien $2,52 \text{ mW}/(\text{m}^2\text{nm sr})$. Her er altså måleserie C03 størst, mens måleserie C01 er minst. Ved å sammenligne de to plottene for L_r er den normaliserte versjonen mer oversiktlig og penere enn den ikke normaliserte versjonen. Det som er verdt å merke seg er måleserie C03 som i det ikke normaliserte plottet ligger størrelsesmessig mellom serie C01 og C02, med overlapp i punktene med serie C01 ved bølgelengde 558,5nm og med serie C02 ved bølgelengdene fra 754,8nm og høyere. I den normaliserte versjonen er måleserie C03 størst, og vi får ingen slike overlapp i så stor grad for noen av bølgelengdene.

Et fellestrekk med alle plottene for L_r er knekken i kurven som går igjen ved 761,3nm bølgelengde. Samme knekk oppstår i plottene for E_d i figur 3.4 og $L_{u \text{ luft}}$ i figur 3.5, så knekken i plottene for L_r følger logisk av definisjonen til L_r .

Ved å se nærmere på totalreflektansen L_r/E_d som vist i figur 3.14 og 3.15 for alle måleseriene, er det mulig å se om samme knekk også oppstår her.



Figur 3. 14 Totalreflektansen L_r/E_d ikke normalisert versjon for alle måleserier.



Figur 3. 15 Totalreflektansen L_r/E_d normalisert versjon for alle måleserier.

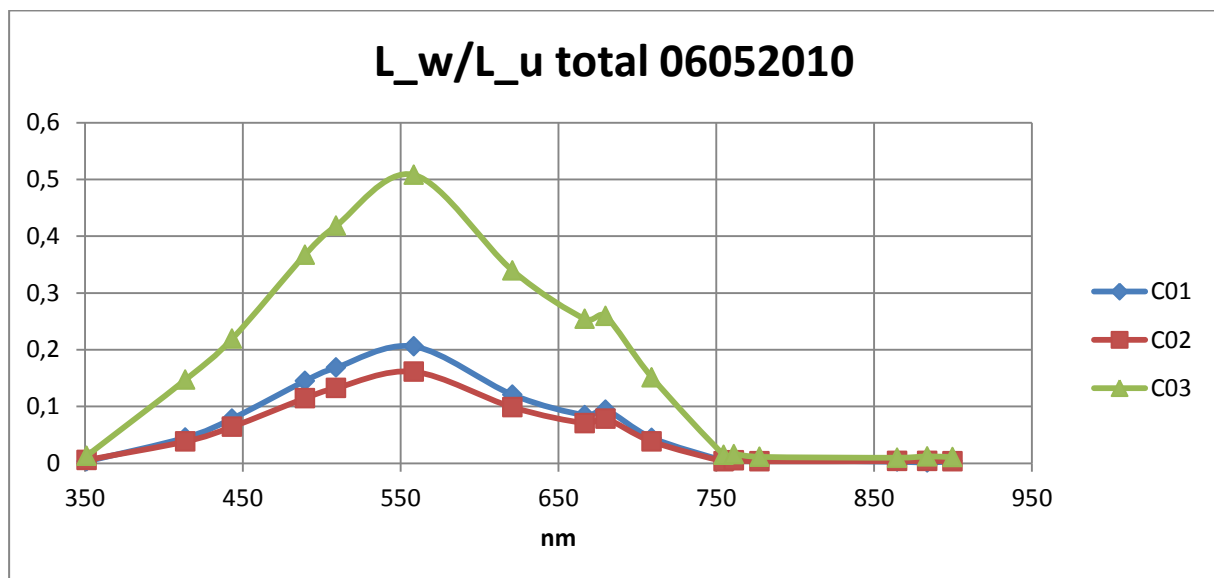
I figur 3.14 og 3.15 kan den samme knekken ses i form av en liten opphøyning i kurven for alle måleseriene ved bølgelengdene 750 til 780nm. I den normaliserte versjonen er det måleserie C01 som er størst med verdier på mellom 0,005 og 0,006 ved bølgelengdene 450 til 750nm, mens måleserie C02 ligger på verdier mellom 0,004 og 0,005 fra 510 til 900nm bølgelengde.

Måleserie C03 er bare halvparten så stor som måleserie C01, og ligger på verdier mellom 0,002 og 0,003 fra 450 til 900nm bølgelengde. Forskjellene mellom den normaliserte og ikke

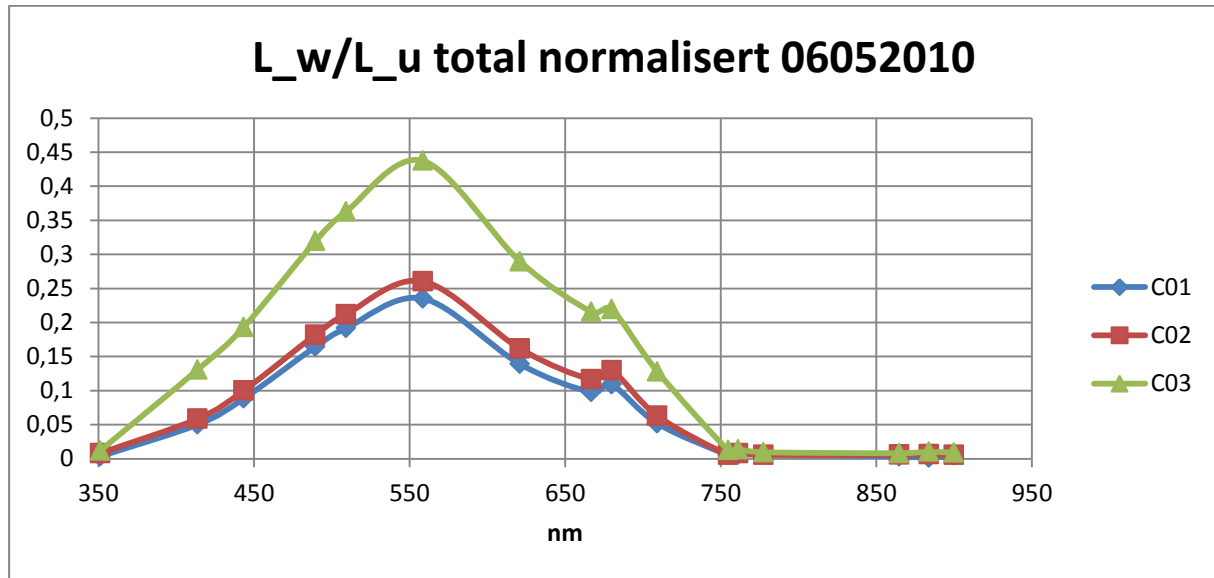
normaliserte plottene i figur 3.14 og 3.15 er ikke så store, men det normaliserte plottet er penere.

Et annet viktig forhold som er av stor interesse er forholdet $L_w/L_{u\ total}$. Som beskrevet i metodebeskrivelsen følger at hvis $\frac{L_w}{L_{u\ total}} \ll 1$, kan den totale reflekterte radiansen L_r settes tilnærmet lik $L_{u\ total}$.

I figur 3.16 og 3.17 vises forholdet $L_w/L_{u\ total}$ for alle måleseriene i en ikke normalisert versjon og normalisert versjon.



Figur 3. 16 Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ ikke normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.



Figur 3. 17 Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.

Av figur 3.16 og 3.17 er forholdet $L_w/L_{u\ total}$ lik 0 ved bølgelengdene 350nm og 750nm for begge versjoner av plottene, det vil si at $L_r \approx L_{u\ total}$ ved disse bølgelengdene.

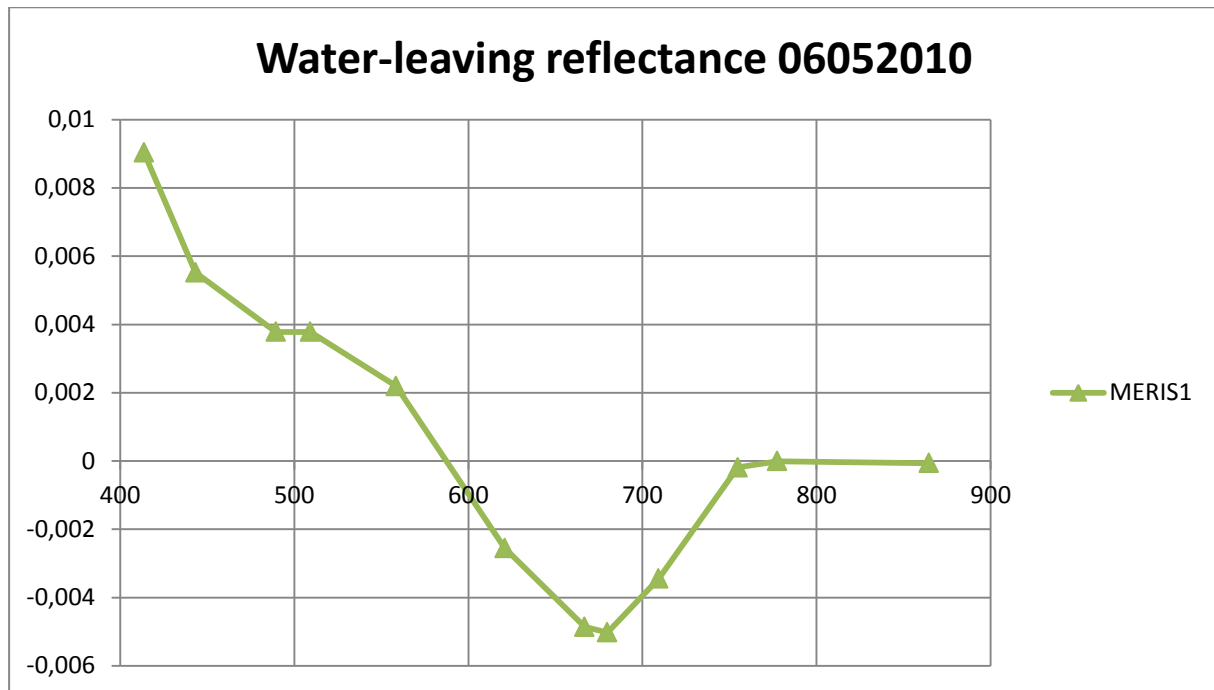
Det neste steget på veien vil være å sammenligne in-situ målingene med satellitt målinger foretatt med MERIS sensoren på ENVISAT. Som beskrevet i metodebeskrivelsen finner man in situ water-leaving reflectance ved hjelp av forholdet $WLR = L_w/E_d$.

De beste MERIS satellitt målingene gjøres i tidsrommet mellom klokken 11:00-12:00 lokal tid i Oslofjord området. Måleserie C01 er den serien som ligger nærmest i tid ved at tidspunktet for disse målingene startet klokken 13:16.

Uansett er det ikke mulig å få en korrekt sammenligning mellom satellitt og in situ målinger for denne dagen, siden tidspunktet for in-situ målingene startet for sent. Men det går an å undersøke likevel og se om det er noen likheter mellom målingene.

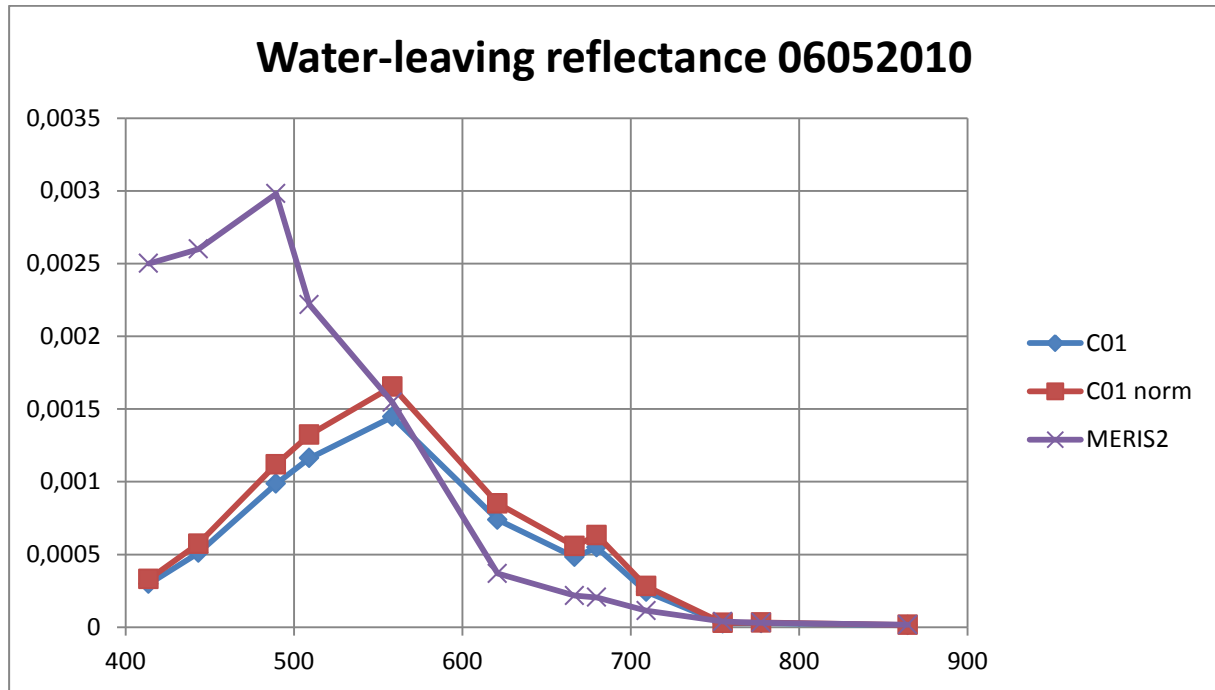
Det er viktig å ha i bakhodet ved utregningen av in-situ WLR at det brukt to forskjellige E_d for den ikke normaliserte og den normaliserte versjonen, henholdsvis $E_{d\ tuft}$ og $E_{d\ maks}$.

I figur 3.18 ser vi at ekstraheringen direkte fra L2 MERIS data gir negative verdier for water-leaving reflectance. Det kan tyde på at atmosfærekorreksjonen har feilet her.



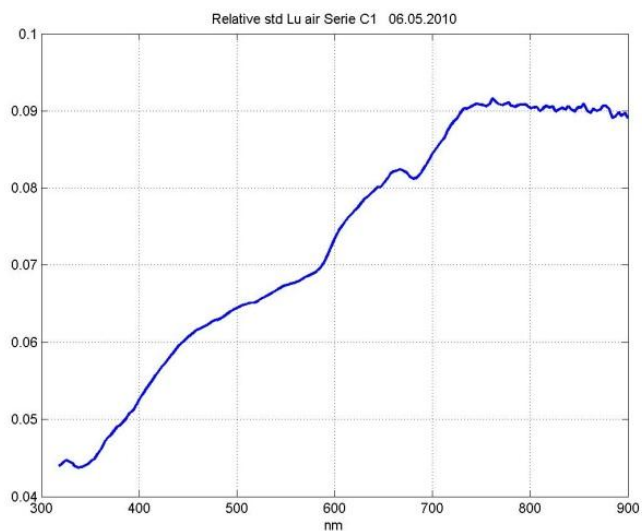
Figur 3. 18 Water-leaving reflectance ekstrahert direkte ut ifra MERIS L2 data(MERIS1).

I figur 3.19 ser vi WLR ekstrahert fra MERIS L1b data og WLR beregnet ut ifra in-situ målingene gjort i felt. WLR ekstrahert fra MERIS L1b dataene blir i dette tilfelle positive, men gir allikevel ikke noe bra samsvar med in-situ målingene. MERIS og in-situ målingene avviker mest fra 400 til 558,5nm bølgelengde. Ved 558,5 nm bølgelengde får vi det beste samsvaret, mens for høyere bølgelengder blir MERIS WLR lavere. Vi får igjen en overlapp ved 754 til 900nm bølgelengde mellom MERIS og in-situ målingene. Totalt sett er det som tidligere sagt lite samsvar mellom satellitt og feltmålingene, dette kan skyldes at in-situ målingene er gjort over en time senere etter at MERIS passasjen fant sted og at atmosfærekorreksjonen i MERIS dataene har feilet.

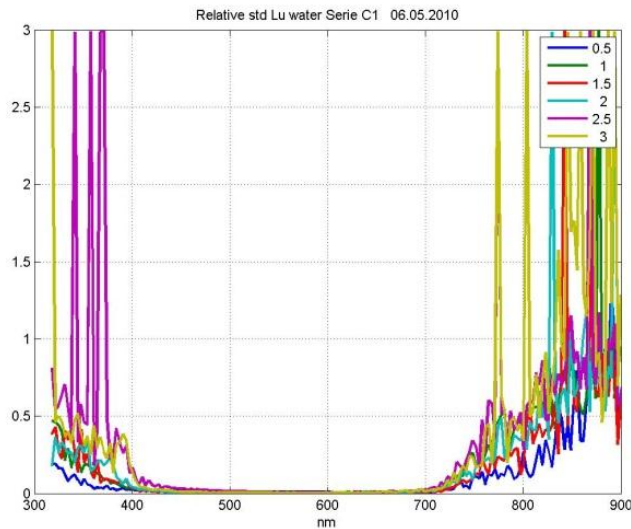


Figur 3. 19 Water-leaving radiance ekstrahert fra L1b MERIS data og water-leaving radiance beregnet ut ifra in-situ målinger.

For å undersøke nærmere om det er andre feilkilder i in-situ målingene kan man se nærmere på RSD i målingene for L_u og E_d . I figur 3.20 og 3.21 ser vi RSD for radians målinger gjort i vann og i luft for måleserie C01.



Figur 3. 20 Det relative standardavviket for $L_{u\text{ luft}}$ for måleserie C01.

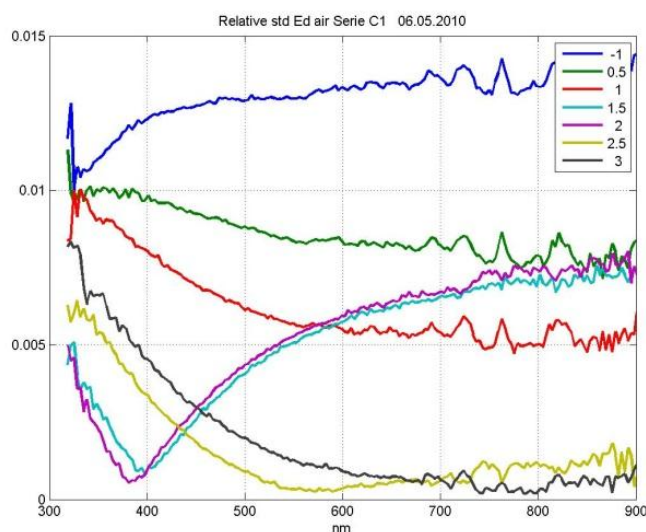


Figur 3. 21 Det relative standardavviket for L_u i vann for måleserie C01.

Av figur 3.20 er RSD for L_u *luft* i underkant av 10%, mens i figur 3.21 som viser L_u i vann er RSD i underkant av 5% for bølgelengdene mellom 400 og 700nm. Utenfor dette intervallet kommer RSD opp i 300%.

Årsaken til de store forskjellene i RSD mellom luft og i vann målingene for L_u er de optiske egenskapene i vann, og de ulike komponentene i vann som gulstoff, in organiske partikler etc.

RSD for E_d er vist i figur 3.22 som viser at den ligger under 1,5% for alle måleintervallene i serie C01.



Figur 3. 22 Det relative standardavviket for E_d for måleserie C01.

Oppsummering

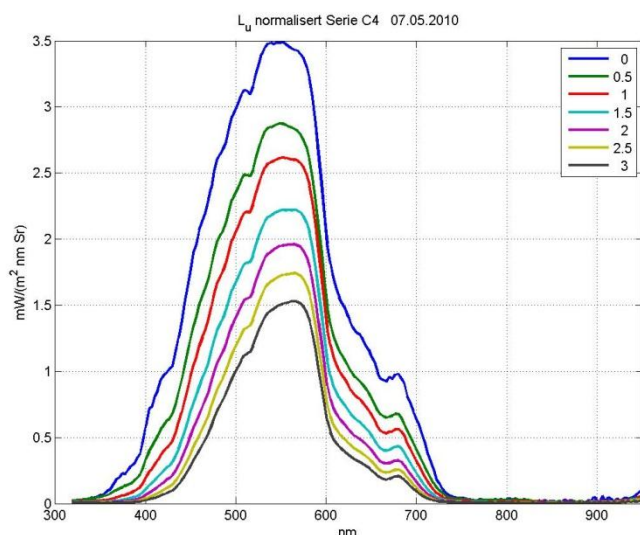
- For målingene av L_u i måleserie C01 ser det ikke ut til å være noen større avvik mellom de ulike måleintervallene for ulike dyp. Ved å sammenligne med $L_{u\ tilt}$ som var montert på samme stativ, er det heller ingen merkbare synlige avvik.
- Ved å sammenligne svekningskoeffisienten i den normaliserte versjonen for alle tre måleserier under ett, er RSD på 1-6 % på bølgelengder mellom 400 og 700nm, mens for høyere bølgelengder er RSD på 5-46 %.
- Total reflektert radians L_r som vi skal fram til får i den normaliserte versjonen samme form i alle måleseriene, men i litt forskjellig størrelsesorden mellom de ulike måleseriene. Årsaken til dette kan være variasjon i vind og værforhold, samt solens posisjon på himmelen varierer iløpet av dagen.
- Forholdet mellom $L_w/L_{u\ total}$ er for alle måleseriene mye mindre enn 1 ved bølgelengdene 350nm og 750nm, noe som gir at total reflekter radians kan skrives som $L_r \approx L_{u\ total}$ her.
- Når det kommer til sammenligningen med WLR ekstrahert fra MERIS data og WLR beregnet ut ifra in-situ målinger er det liten sammenheng mellom målingene. Noen av årsakene er at in-situ målingene er gjort senere enn ENVISAT passasjen, og atmosfærekorreksjonene i MERIS dataene har feilet.
- Når det kommer til normalisering viser det seg at dette er en bra metode for å korrigere statistiske avvik, slik at flere av måleseriene kan brukes. Det gir også mer oversiktlige og penere plott generelt sett. For de andre toktdagene vil det kun benyttes normaliserte versjoner av plott i presentasjonen av dataene.

3.2 Tøktet 7.mai 2010

Under tøkter den 7.mai ble samme sensoroppsett benyttet og målingene ble gjort i samme område som ved tøkter den 6.mai 2010. Det ble foretatt totalt 7 måleserier denne dagen og målingene ble foretatt ned til 3,0m dyp med 0,5m intervall. For nærmere detaljer rundt de ulike måleseriene, se tabell 3.2 i Vedlegg.

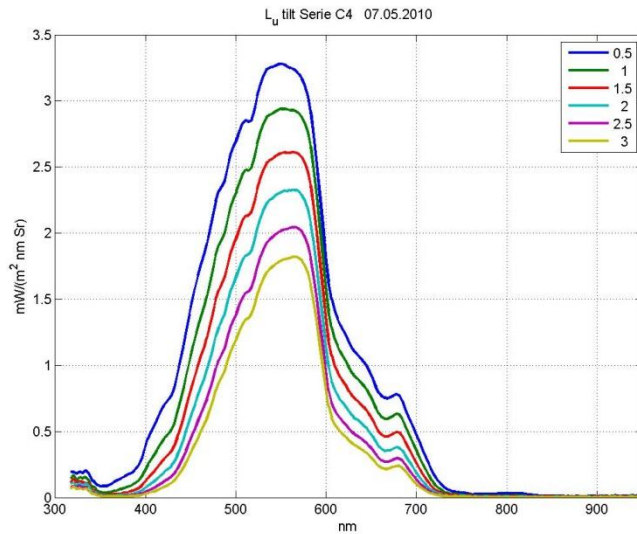
For å få en bedre forståelse av sammenligningen mellom in-situ data og MERIS satellitt data er det best å velge måleserie C04 som ble foretatt under ENVISAT passasjen. Måleserie C04 ble foretatt i tidsrommet kl. 11:33 til kl.11:43.

Som under beskrivelsen av tøkter den 6.mai er det mest hensiktsmessig å starte med målingene av den oppadgående radiansen L_u i vann. Figur 3.23 viser normaliserte verdier for $L_{u\text{ norm}}$ for ulike dyp i måleserie C04.



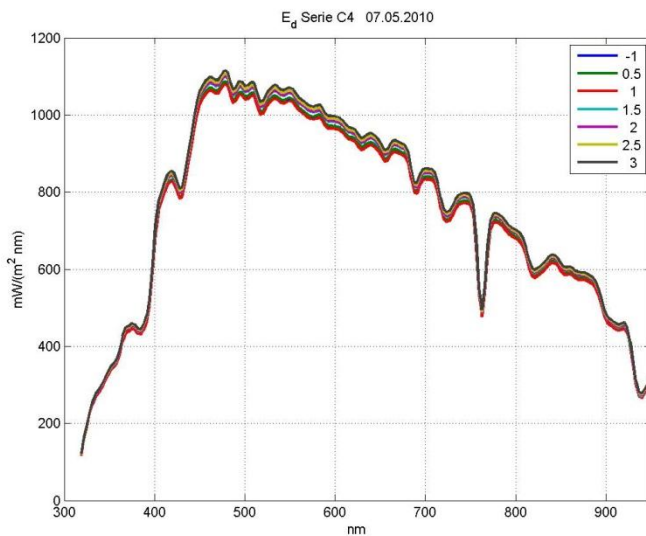
Figur 3. 23 Oppadgående radians L_u normalisert mot $E_{d\text{ maks}}$ for ulike dybder i vann for måleserie C04.

Ved overflaten er verdien for $L_u(0)$ ved bølgelengde 552nm $3,49\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ nm sr})$, mens for 3,0 meters dybden er den tilsvarende verdien $1,51\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ nm sr})$. Ved å sammenligne med figur 3.24 som viser $L_{u\text{ tilt}}$ for ulike dyp i serie C04 ser vi at det ikke er noen store avvik når vi ser på formen på kurvene. Det er viktig å ha i bakhodet at $L_{u\text{ tilt}}$ ikke er normalisert eller korrigert for den vinkel den var tiltet. Ved å sammenligne figur 3.23 og 3.24 kan man undersøke om de to instrumentene for L_u og $L_{u\text{ tilt}}$ får lignende resultater.



Figur 3. 24 Oppadgående radians $L_{u\ tilt}$ for ulike dybder i vann for måleserie C04.

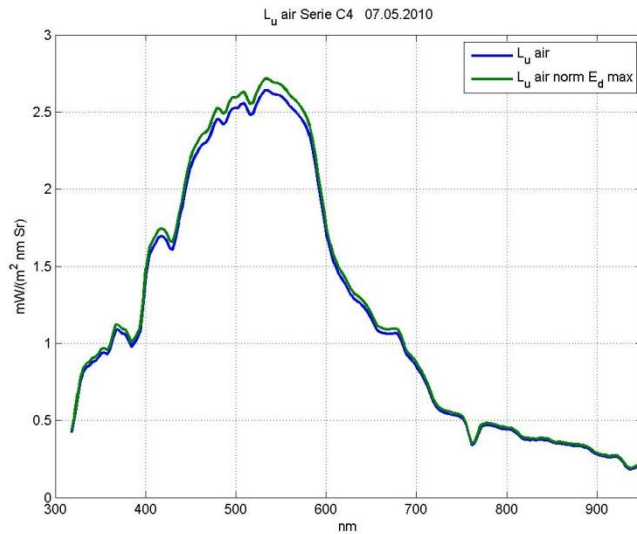
Normaliseringen til L_u avhenger av maksspekteret til irradiansen E_d . Figur 3.25 viser E_d spekteret for måleserie C04.



Figur 3. 25 Nedadgående irradians E_d i luft for måleserie C04. Målingene er gjort i samme tidsrom som for L_u .

Ut ifra figur 3.25 opptrer maksspekteret til E_d ved samme måleintervall som målingene av L_u ved 3m dybde.

Siden maksspekteret til E_d oppstår i et annet tidsrom enn for $L_{u\ luft}$ får vi en liten forskjell mellom normalisert og ikke normalisert versjon for $L_{u\ luft}$ som vist i figur 3.26.

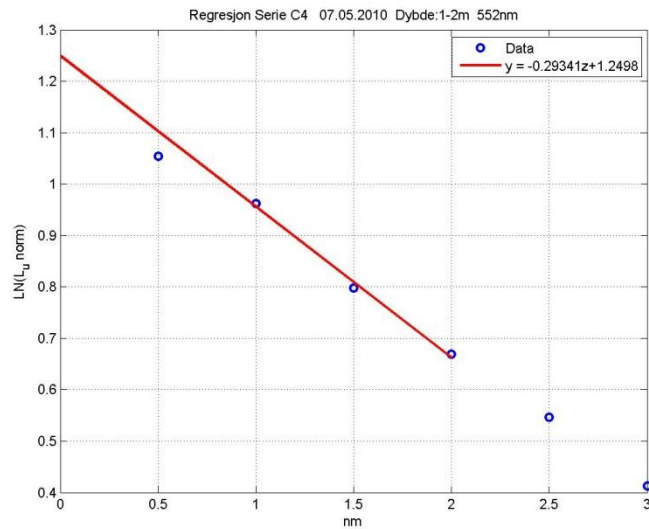


Figur 3. 26 Oppadgående radians L_u i luft for måleserie C01, både normalisert og ikke normalisert versjon.

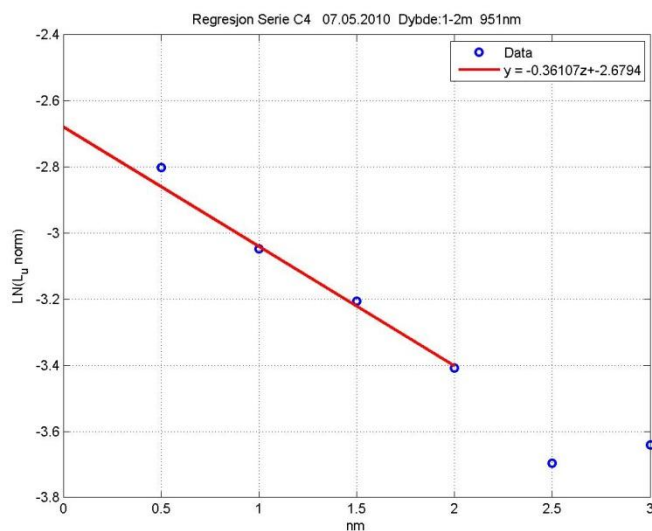
Forskjellene mellom den normaliserte og den ikke normaliserte versjonen til $L_{u\text{ luft}}$ er på mindre enn $0,1 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$.

For å finne overflateverdien av radiansen $L_u(0)$ gitt som 0 meter verdien i figur 3.23 ekstrapolerer man fra 1-2 meters dyp og opp til overflaten som beskrevet i forrige delkapittel.

I figur 3.27 og 3.28 er regresjonslinjen plottet fra 2-meters dyp og opp til overflaten, og man kan tydelig se en klar lineær sammenheng i begge plott. Studerer man punktene til $LN(L_u)$ ved 2 til 3 meters dybde er det en liten forskjell. I figur 3.27 som viser ekstrapoleringen fra 552nm bølgelengde ser punktene på denne dybden til å ligge på en rett linje, mens i figur 3.28 som viser ekstrapoleringen fra 951nm bølgelengde er punktene til $LN(L_u)$ litt utenfor regresjonslinjen. Sammenlignet med måleserie C01 fra toktet den 6.mai er forskjellen mellom 552nm og 951nm betydelig mindre for måleserie C04.

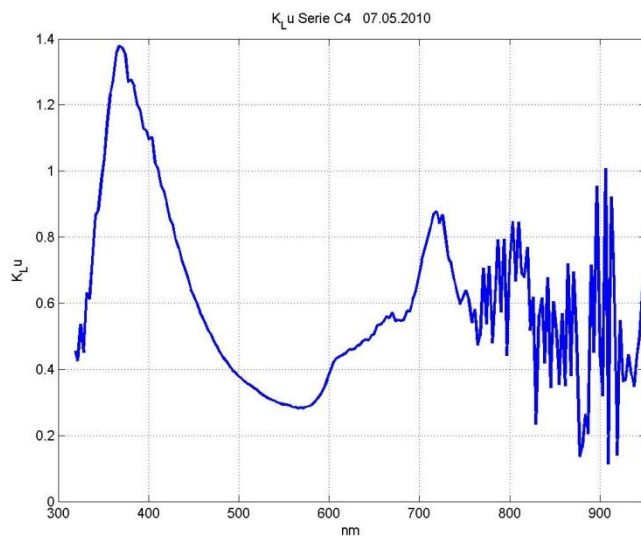


Figur 3. 27 Regresjonslinjen for $LN(L_{u \text{ norm}})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie C04.



Figur 3. 28 Regresjonslinjen for $LN(L_{u \text{ norm}})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie C04.

Ved å ta en nærmere titt på svekningskoeffisienten K_{L_u} for serie C04 i figur 3.29 kan man se at kurven er jevn på bølgelengdene mellom 400 og 700nm, mens det bare er mindre uregelmessigheter for bølgelengdene mindre enn 400nm. For bølgelengder over 700nm er uregelmessighetene større av størrelsesorden 0,2 til 0,9, noe mindre enn for måleserie C01 den 6.mai i figur 3.8. Årsaken til de uregelmessighetene for bølgelengder under 400nm og over 700nm er svake signaler for L_u .

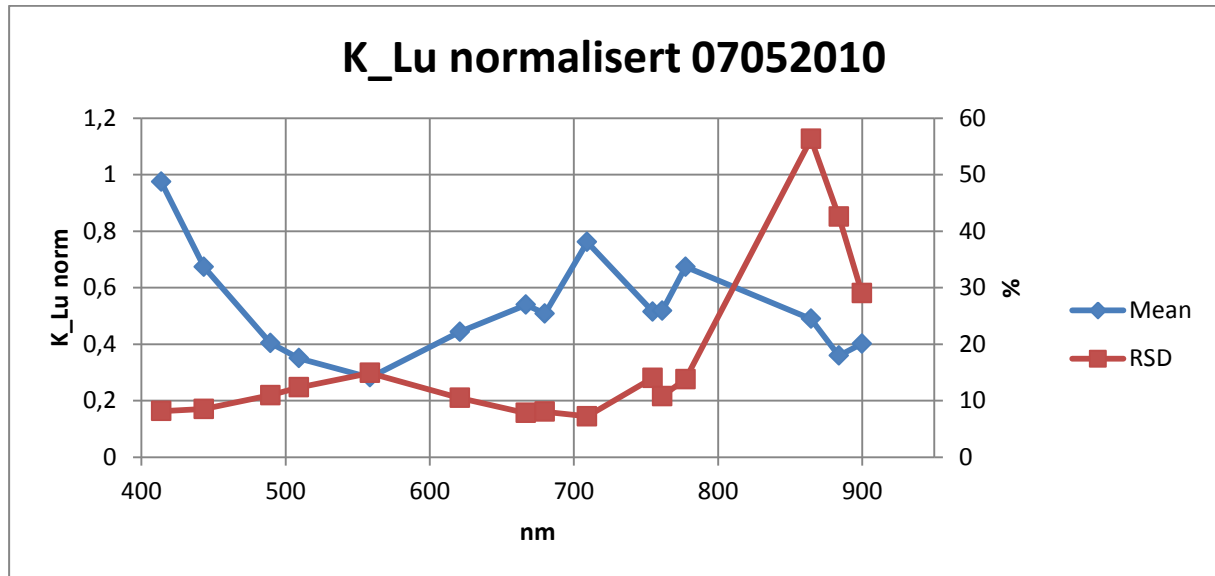


Figur 3. 29 Svekningskoeffisienten K_{Lu} for måleserie C04.

Ved å beregne gjennomsnittet for K_{Lu} for alle syv måleseriene den 7.mai kan det gjøres en rekke interessante observasjoner. Figur 3.30 viser gjennomsnittet av K_{Lu} for alle MERIS kanalene for alle måleseriene den 7.mai. Hvis vi sammenligner med K_{Lu} normalisert plottet fra 6.mai i figur 3.10 ser kurvene for K_{Lu} nesten like ut. De er av størrelsesorden litt forskjellige, for eksempel ved 413,7nm bølgelengde har K_{Lu} for 7.mai i figur 3.30 en verdi på 0,97, mens den tilsvarende verdien for K_{Lu} ved samme bølgelengde den 6.mai i figur 3.10 er 1,05. K_{Lu} er størst for den 6.mai, med en differanse på 0,08. Ved 558,5nm bølgelengde er verdien for den 7.mai av K_{Lu} på 0,28, mens for den 6.mai er verdien av K_{Lu} på 0,26. Ved denne bølgelengden er 7.mai verdien av K_{Lu} størst med en differanse på 0,02.

Det relative standardavviket RSD for K_{Lu} den 7.mai ligger på 7,5-15% for bølgelengder mellom 400 og 700nm, noe som er en del høyere om vi sammenligner RSD for K_{Lu} normalisert den 6.mai.

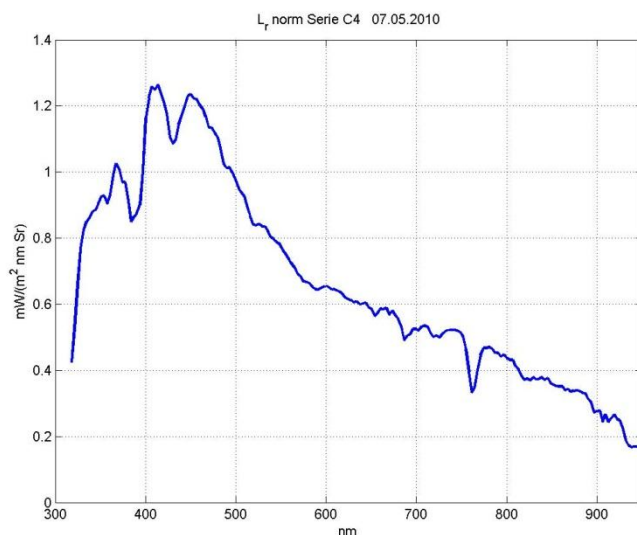
For bølgelengder større enn 700nm ligger RSD på mellom 7-56%, noe som også er en del høyere om vi sammenligner med RSD for K_{Lu} normalisert den 6.mai.



Figur 3. 30 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten K_{Lu} (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik (rød graf).

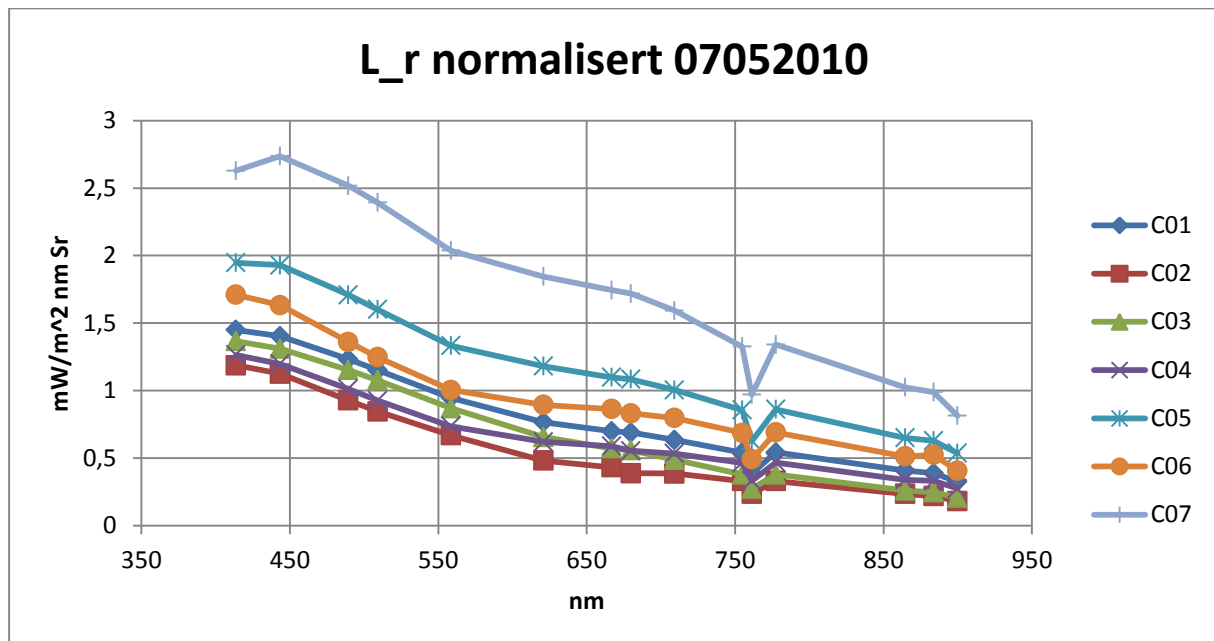
Ved å benytte formelen for total reflektert radians L_r som beskrevet i metodebeskrivelsen*** og i delkapittel 3.1 kan vi enkelt beregne total reflektert radians L_r som er esitmatet vi er på jakt etter.

Figur 3.31 viser L_r normalisert versjon for måleserie C04. Vi kan igjen se at det er noen likhetstrekk med L_u *luft* i figur 3.26.



Figur 3. 31 Total reflektert radians L_r for måleserie C04, normalisert versjon.

Ved å sammenligne L_r for alle måleseriene gir dette en bedre oversikt. Figur 3.32 viser L_r normalisert for alle 7 måleseriene den 7.mai 2010.



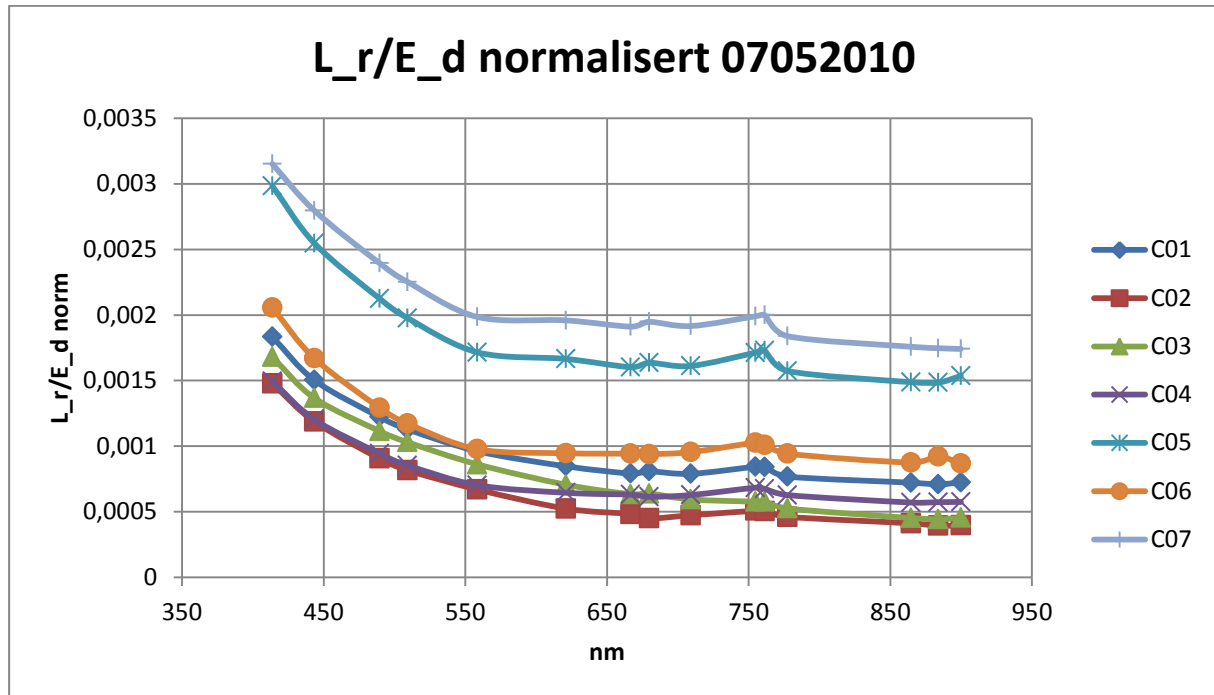
Figur 3. 32 Total reflektert radians L_r , normalisert versjon, for alle måleserier.

Ved første øyekast har kurven til L_r samme form for alle måleseriene, men måleserie C07 skiller seg markant størrelsesmessig i forhold til de andre ved at den er markant større. Ved bølgelengden 558,5nm har L_r for serie C07 en verdi på $2,04 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{nm sr})$, mens verdien for samme bølgelengde for serie C05 er på $1,33 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{nm sr})$, det vil si en differanse på $0,71 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{nm sr})$.

Verdien for L_r ved den minste måleserien, C02 har verdi på $0,67 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{nm sr})$ ved 558,5nm bølgelengde.

Den samme karakteristiske knekken i kurven som ble observert i plottene for L_r den 6.mai ved 761,3nm bølgelengde, opptrer også i L_r plottet for 7.mai i figur 3.32. Den samme knekken kan også ses i plottene for $L_{u \text{ luft}}$ og E_d for måleserie C04.

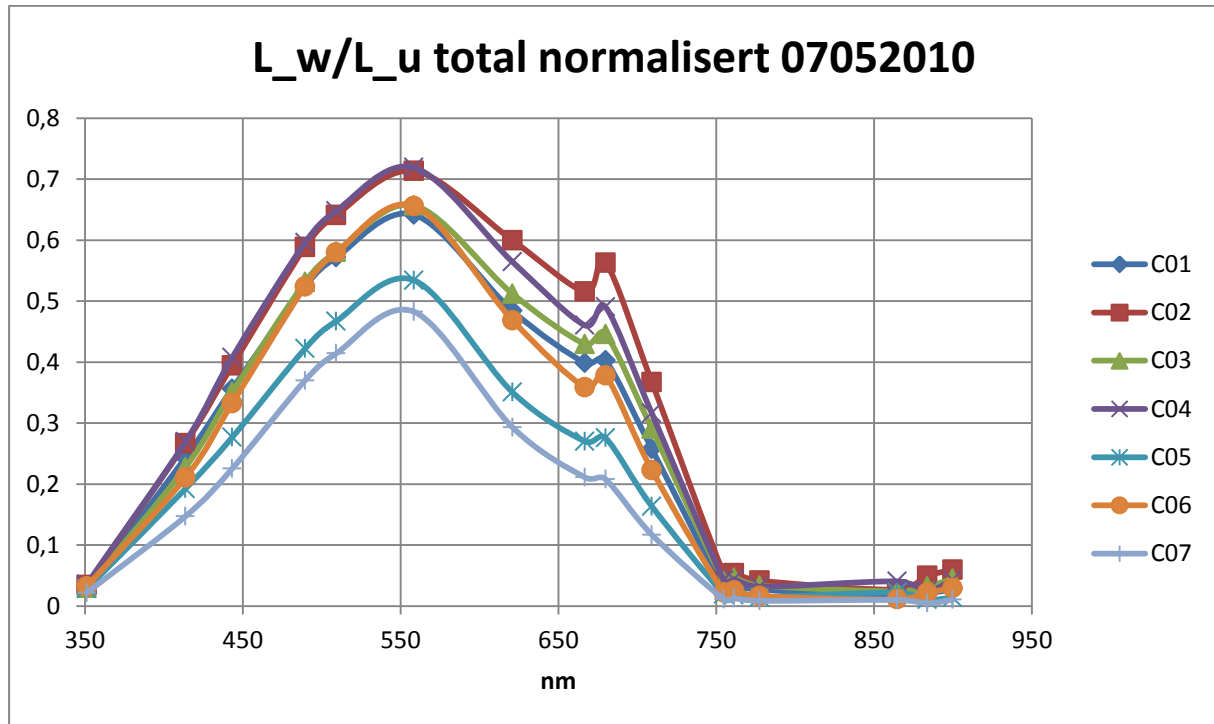
Ved å se nærmere på totalreflektansen L_r/E_d som vist i figur 3.33 for alle måleseriene, ser vi at vi får en opphøyning i samme bølgelengdeområdet der knekken i kurven for L_r i figur 3.32 oppstår.



Figur 3. 33 Totalreflektansen L_r/E_d normalisert versjon for alle måleserier.

Totalreflektansen er størst for måleserie C07 der den ligger på verdier i underkant av 0,002 for bølgelengder mellom 550 og 750nm. Serie C02 er minst med verdier på rundt 0,0005 i samme området. Det som er verdt å merke seg er måleseire C03 og C04 som krysser hverandre i området mellom 650 og 750nm. Det samme er tilfelle i plottet for L_r i samme bølgelengdeområdet i figur 3.32.

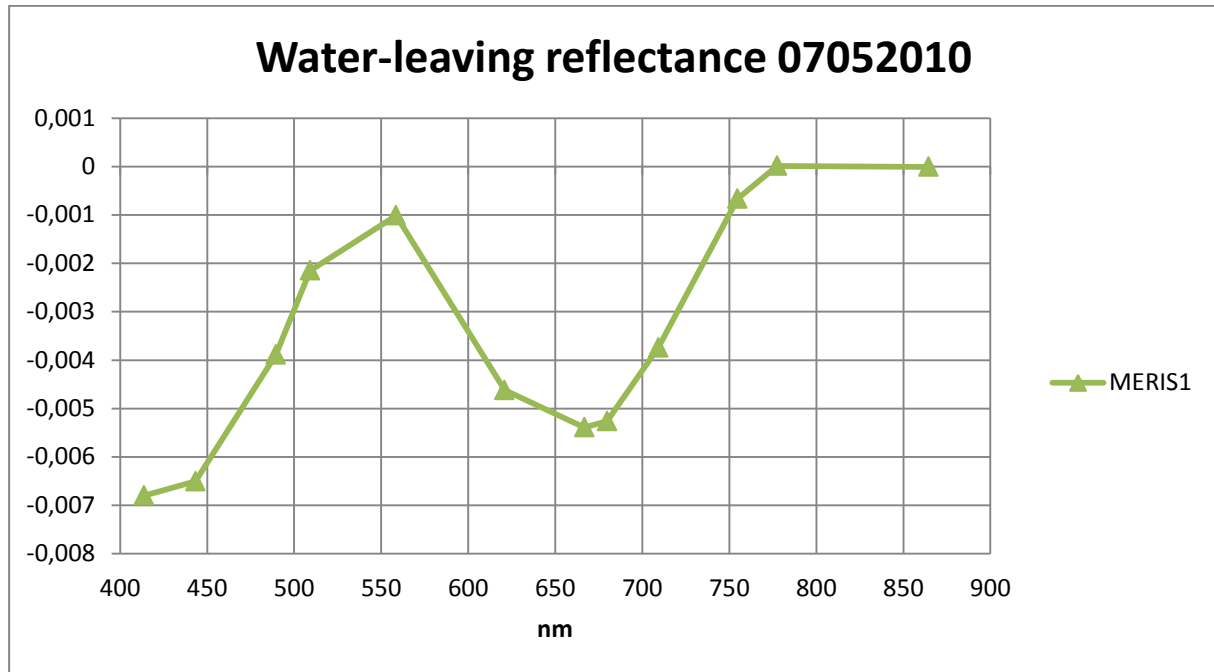
Ved å se nærmere på forholdet $L_w/L_{u\ total}$ kan man se om $L_r \approx L_{u\ total}$ for veldig korte eller for veldig lange bølgelengder. I figur 3.34 er forholdet $L_w/L_{u\ total}$ plottet opp for alle måleseriene for den 7.mai. Ved bølgelengder over 750nm er $L_w/L_{u\ total} \ll 1$ og L_r er da tilnærmet lik $L_{u\ luft}$, det samme er også tilfelle for bølgelengder lavere enn 350nm.



Figur 3. 34 Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.

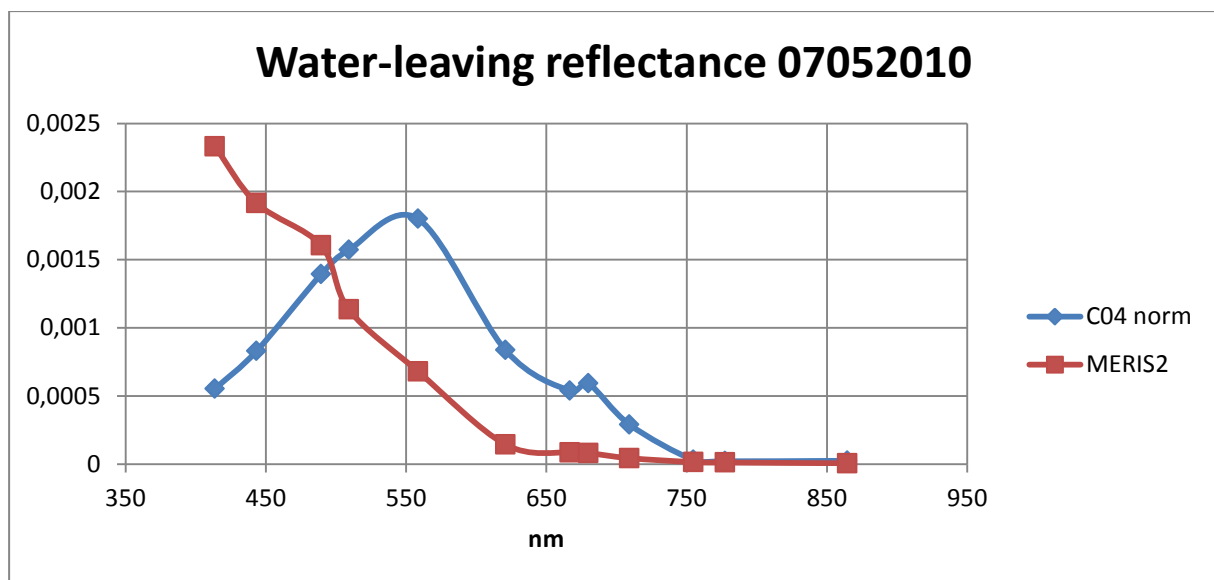
Det neste steget på veien vil være å sammenligne water-leaving reflectance(WLR) beregnet ut ifra in-situ målingene og MERIS WLR lignende den som ble gjort for den 6.mai.

Denne dagen ble in-situ målingene gjort på samme tidspunkt som ENVISAT passasjen fant sted. I figur 3.35 ser vi WLR ekstrahert fra MERIS L2 data. Som i figur 3.18 får vi negative verdier for WLR. Det kan tyde på at atmosfærekorreksjonen i MERIS dataene har feilet også for denne dagen.



Figur 3. 35 Water-leaving reflectance ekstrahert direkte ut ifra MERIS L2 data.

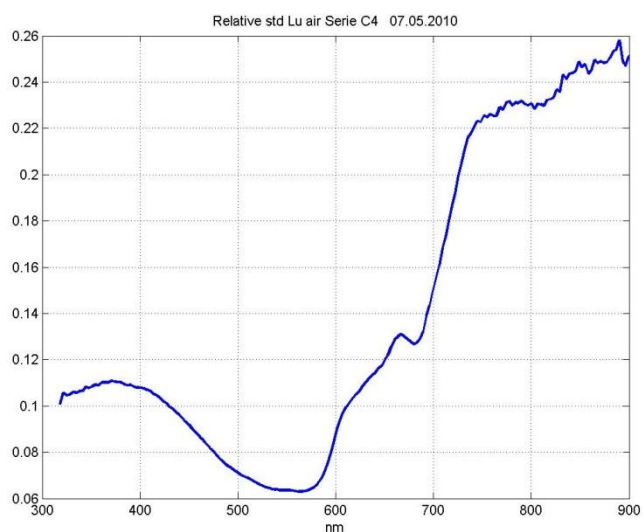
WLR ekstrahert ut ifra MERIS L1b data er vist i figur 3.36. Her er det ikke noe samsvar mellom in-situ WLR og WLR ekstrahert fra MERIS dataene før 750nm bølgelengde. Fra 750 til 870nm bølgelengde har begge kurver overlapp.



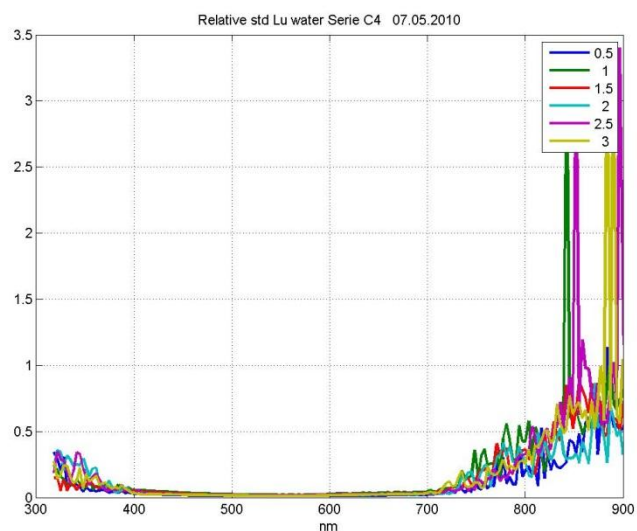
Figur 3. 36 Water-leaving radiance ekstrahert fra L1b MERIS data og water-leaving radiance beregnet ut ifra in-situ målinger.

For å undersøke nærmere om det er andre feilkilder i in-situ målingene kan man se nærmere på RSD i målingene for L_u og E_d . I figur 3.37 og 3.38 ser vi RSD for radians målinger gjort i luft og i vann for måleserie C04.

Av figur 3.37 er RSD for $L_{u\text{ luft}}$ i underkant av 26% , mens i figur 3.38 som viser RSD for L_u i vann er RSD i underkant av 5% for bølgelengdene mellom 400 og 700nm. Utenfor dette intervallet kommer RSD opp i 350 % for L_u i vann.

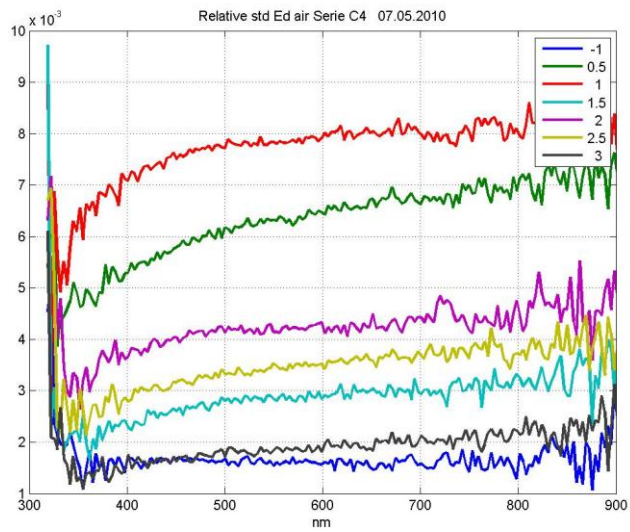


Figur 3. 37 Det relative standardavviket for $L_{u\text{ luft}}$ for måleserie C04.



Figur 3. 38 Det relative standardavviket for L_u i vann for måleserie C04.

RSD for måleserie C04 er vist i figur 3.39 som viser at den ligger under 1%.



Figur 3. 39 Det relative standardavviket for E_d for måleserie C04.

Oppsummering

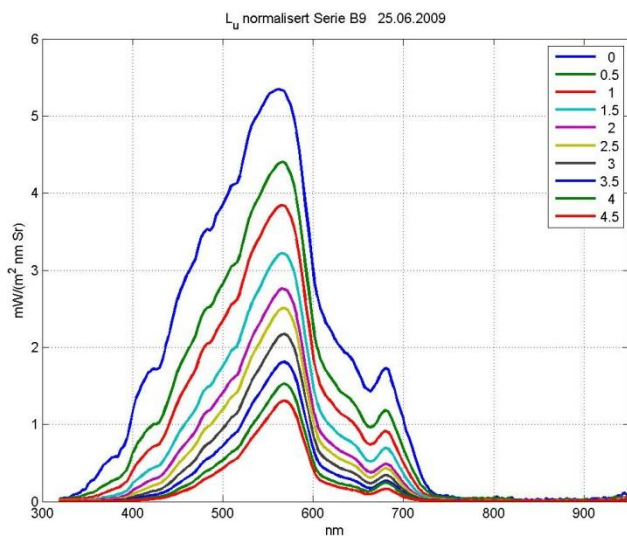
- For målingene av L_u i måleserie C04 ser det ikke ut til å være noen større avvik mellom de ulike måleintervallene for ulike dyp. Ved å sammenligne med $L_{u\ tilt}$ som var montert på samme stativ, er det heller ingen merkbare synlige avvik.
- Ved å sammenligne svekningskoeffisienten i den normaliserte versjonen for alle syv måleserier under ett, er RSD på 7,5-15 % på bølgelengder mellom 400 og 700nm, mens for høyere bølgelengder er RSD på 7-56 %, noe som er høyere enn for toktet den 6.mai.
- Totalt reflektert radians L_r har samme form i alle måleseriene, men måleserie C07 skiller seg ut ved at den er mye større enn de andre størrelsesmessig. Ved nærmere granskning viser det seg at $L_{u\ luft}$ for måleserie C07 er større enn de andre måleseriene, og det forklarer hvorfor denne er større enn de andre.
- Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ er i alle måleserier mye mindre enn 1 ved bølgelengdene 350 og 750nm og utover som vist i figur 3.34. Det vil si at $L_r \approx L_{u\ total}$ ved disse bølgelengdene.
- Når det kommer til sammenligningen med WLR ekstrahert fra MERIS data og WLR beregnet ut ifra in-situ målinger er det liten sammenheng mellom de ulike målingene, selv om in-situ målingene ble gjort på samme tidspunkt som satellitt passasjen. Det kan tyde på at korreksjonen i satellitt målingene har feilet, og in-situ målingene kanskje ligger nærmere virkeligheten.

3.3 Tøktet 25.juni 2009

Under tøktet den 25.juni 2009 ble et lignende oppsett brukt som i 2010 tøktene, men denne gangen var i tillegg en irradianssensor brukt på stativ som senkes ned i vann.

Det ble foretatt 9 måleserier totalt denne dagen ned til ulike dyp, med 0,5meters intervall. Noen måleserier ble gjort ned til 4,5meters dyp, mens andre måleserier ble foretatt ned til 2,5meter. For nærmere oversikt over måleserier og hvilket dyp de ble foretatt ned til, se tabell 3.3 i Vedlegg. Under denne dagen ble det ikke notert noen GPS posisjon og derfor er det ikke mulig å gjøre en sammenligning mellom MERIS data og in-situ data. Derfor er måleserie B09 tilfeldig valgt for denne dagen, der det ble gjort målinger ned til 4,5meters dyp. Serie B09 ble gjort i tidsrommet kl.15:18 til kl.15:32.

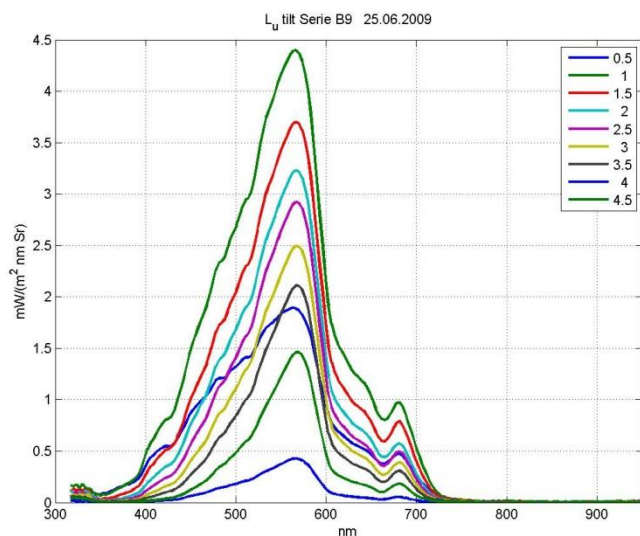
Som under beskrivelsen for tøktet den 6. og 7.mai 2010 er det mest hensiktsmessig å starte med målingene av den oppadgående radiansen L_u i vann. Figur 3.40 viser normaliserte verdier for $L_{u\text{ norm}}$ for ulike dyp i måleserie B09.



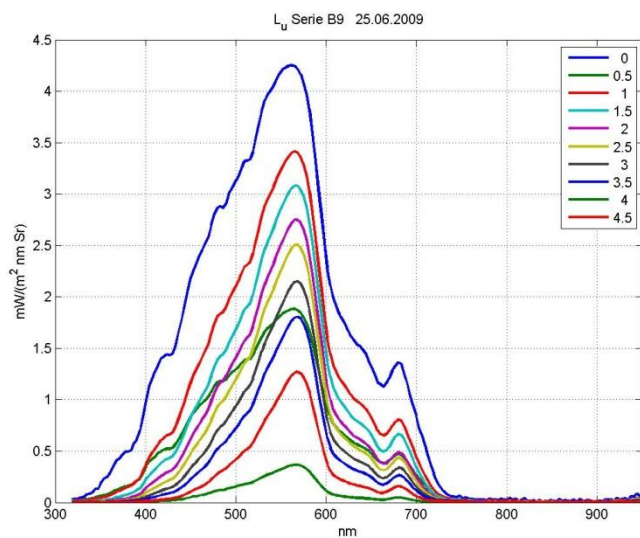
Figur 3. 40 Oppadgående radians L_u normalisert mot $E_{d\text{ maks}}$ for ulike dybder i vann for måleserie B09.

Ved overflaten er verdien for $L_u(0)$ ved bølgelengde 552nm $5,30\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ nm sr})$, mens for 4,5 meters dybde er den tilsvarende verdien $1,18\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ nm sr})$. Ved å sammenligne med figur 3.41 som viser $L_{u\text{ tilt}}$ for ulike dyp i serie B09 ser vi at verdiene for 0,5m og 4m dybde avviker fra de andre tidsseriene. Ved å sammenligne med det ikke normaliserte plottet for L_u i figur 3.42 kan de samme avvikene ses her. Det viser at det kan være ytre forhold som er årsak

til avvikene, og at normalisering av L_u mot E_d maks er svært effektiv ved å rette opp denne type avvik i måledata.



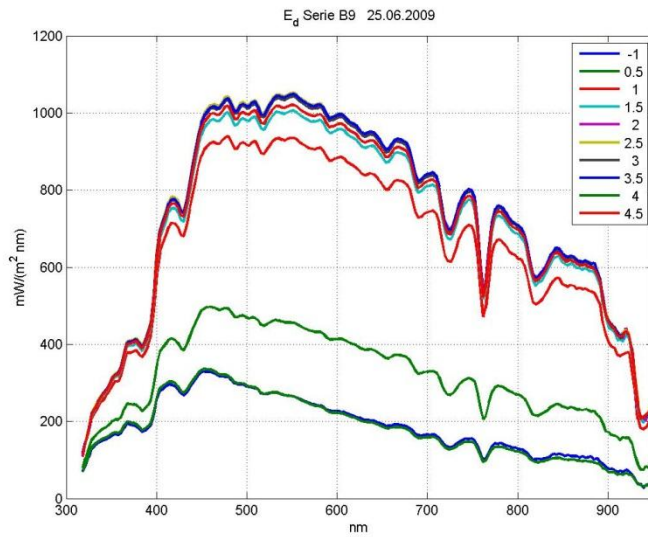
Figur 3. 41 Oppadgående radians L_u tilt for ulike dybder i vann for måleserie B09.



Figur 3. 42 Oppadgående radians L_u for ulike dybder i vann for måleserie B09, ikke normalisert versjon.

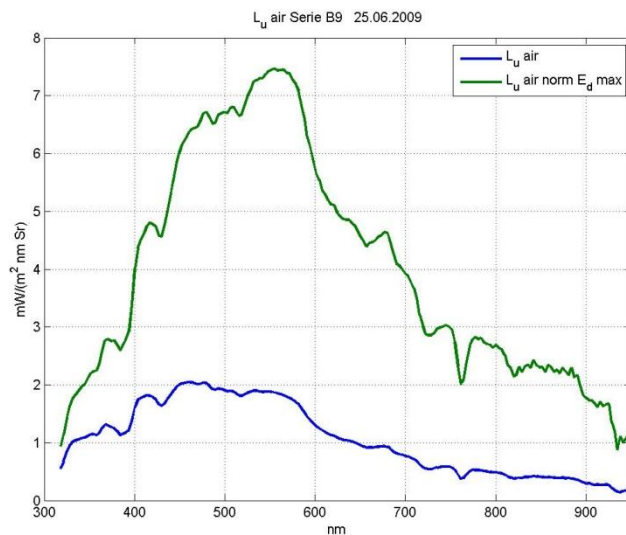
Det som er viktig å merke seg er at $L_u(0)$ i det ikke normaliserte plottet får en verdi på $4,21 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$, det vil si en differanse på 1,09 i forhold til den normaliserte versjonen.

Normaliseringen til L_u avhenger av maksspekteret til irradiansen E_d . Figur 3.43 viser E_d spekteret for måleserie B09.



Figur 3. 43 Nedadgående irradians E_d i luft for måleserie B09. Målingene er gjort i samme tidsrom som for L_u .

Sammenligner vi E_d målingene i luft i figur 3.43 med målingene for L_u i figur 3.41 og 3.42 gjort i samme tidsrom, ser vi at det også er avvik i E_d målingene. De oppstår i samme tidsrom som avvikene for L_u ved 0,5m og 4m dybde. Noe som kanskje tyder på at det er ytre forhold som er årsaken til avvikene.

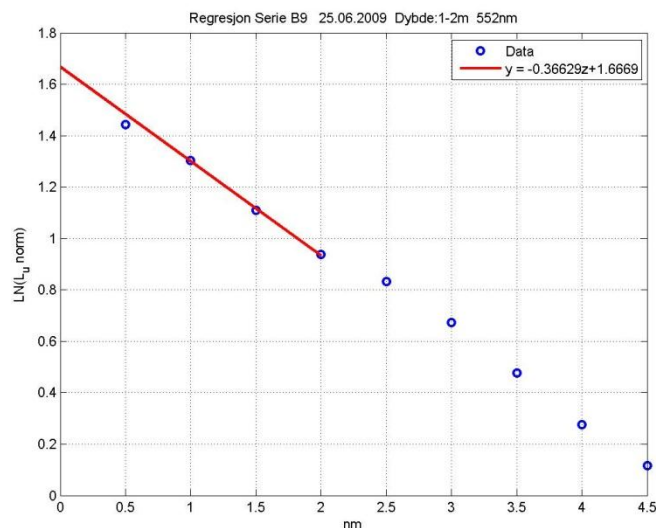


Figur 3. 44 Oppadgående radians L_u i luft for måleserie B09, både normalisert og ikke normalisert.

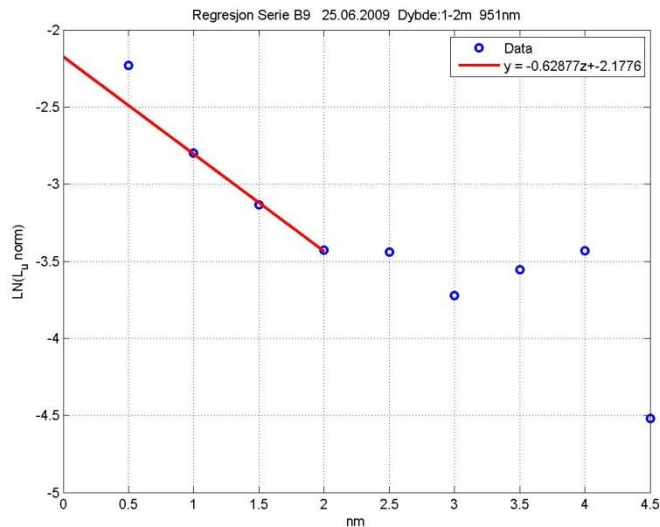
I figur 3.44 som viser L_u i luft blir det størrelsesmessig betydelig forskjell mellom den normaliserte og den ikke normaliserte versjonen av L_u i luft. $L_{u\text{ luft}}$ normalisert er nesten 3-4 ganger så stor som $L_{u\text{ luft}}$ ikke normalisert.

For å finne overflateverdien av radiansen $L_u(0)$ gitt som 0 meter verdien i figur 3.40 må man ekstrapolere fra 1-2 meters dyp og opp til overflaten som beskrevet i delkapittel 3.1.

I figur 3.45 og 3.46 er regresjonslinjen plottet fra 2-meters dyp og opp til overflaten, og man kan tydelig se en tilnærmet lineær sammenheng mellom regresjonslinjen og punktene til $LN(L_u)$ ved 552nm bølgelengde. Mens ved 951nm bølgelengde er det kun en lineær sammenheng mellom punktene til $LN(L_u)$ fra 1 til 2 meters dybde, ellers ligger punktene utenfor.

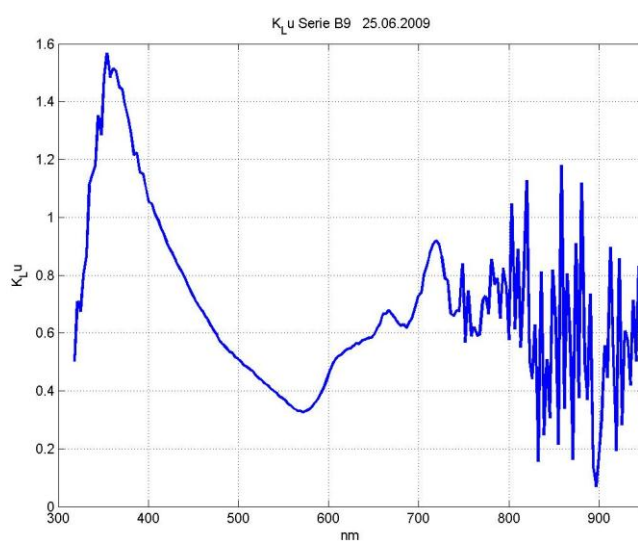


Figur 3. 45 Regresjonslinjen for $LN(L_{u\text{ norm}})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2meters dybde ved 552nm bølgelengde for måleserie B09.



Figur 3. 46 Regresjonslinjen for $LN(L_u \text{ norm})$ fra ekstrapoleringen ved 1-2 meters dybde ved 951nm bølgelengde for måleserie B09.

Ved å ta en nærmere titt på svekningskoeffisienten K_{L_u} for serie B09 i figur 3.47 kan man se at kurven er jevn på bølgelengdene mellom 400 og 700nm, mens det bare er mindre uregelmessigheter for bølgelengdene mindre enn 400nm. For bølgelengder over 700nm er uregelmessighetene større av størrelsesorden 0,2 til 1,1, litt større enn for måleserie C04 den 7.mai i figur 3.29, mens den er mindre enn for måleserie C01 den 6.mai i figur 3.8. Årsaken til de uregelmessighetene for bølgelengder under 400nm og over 700nm er svake signaler for L_u målingene gjort i vann.

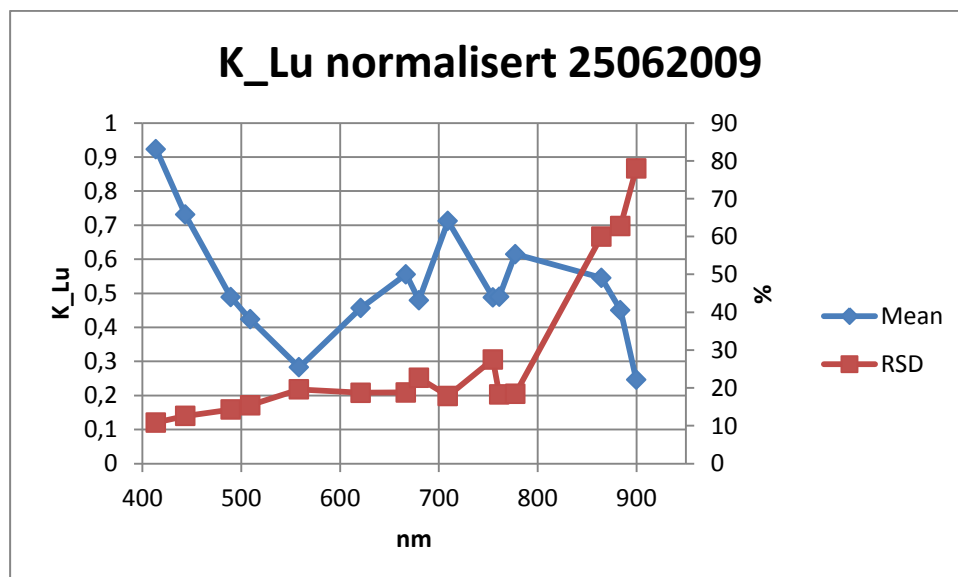


Figur 3. 47 Svekningskoeffisienten K_{L_u} for måleserie B09.

Ved å beregne gjennomsnittet for K_{Lu} for alle måleseriene den 25.juni kan det gjøres en rekke interessante observasjoner også her. Figur 3.48 viser gjennomsnittet av K_{Lu} for alle MERIS kanalene for alle måleseriene den 25.juni 2009. Hvis vi sammenligner med K_{Lu} normalisert plottet fra 6.mai 2010 i figur 3.10 og fra 7.mai 2010 i figur 3.30 ser vi at kurvene har mange likhetstrekk. De er av størrelsesorden noe forskjellige, for eksempel ved 413,7nm har K_{Lu} for 6.mai 2010 en verdi på 1,05 i figur 3.10 og for 7.mai 2010 i figur 3.30 en verdi på 0,97, mens den tilsvarende verdien for K_{Lu} ved samme bølgelengde den 25.juni 2009 i figur 3.48 er 0,92. K_{Lu} er størst den 6.mai 2010, med en differanse på 0,13 i forhold til 25.juni 2009. Ved 558,5nm bølgelengde er verdien for 25.juni 2009 0,28, den samme som for den 7.mai 2010, mens for den 6.mai er verdien av K_{Lu} 0,26.

Det relative standardavviket RSD for K_{Lu} den 25.juni 2009 ligger på 10,9-22,7% for bølgelengder mellom 400 og 700nm, noe som er en del høyere sammenlignet med begge toktdagene i 2010.

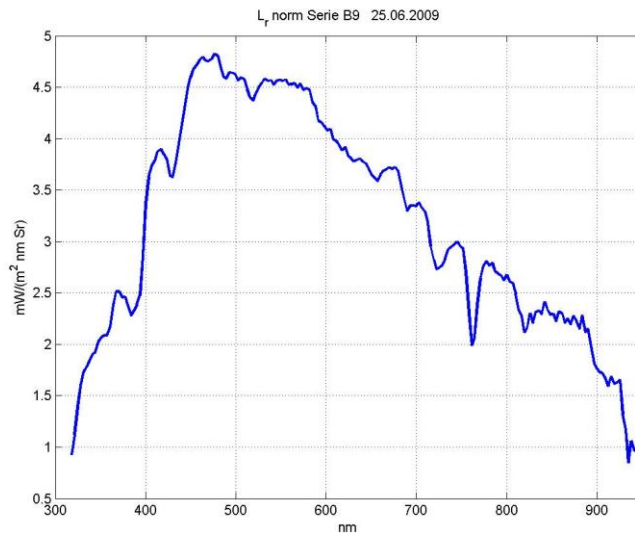
For bølgelengder større enn 700nm ligger RSD på mellom 18-78%, noe som også er en del høyere om vi sammenligner med 2010 toktene.



Figur 3. 48 Gjennomsnittet av den normaliserte svekningskoeffisienten K_{Lu} (blå graf) for MERIS kanalene for alle måleseriene, samt relativt standardavvik (rød graf).

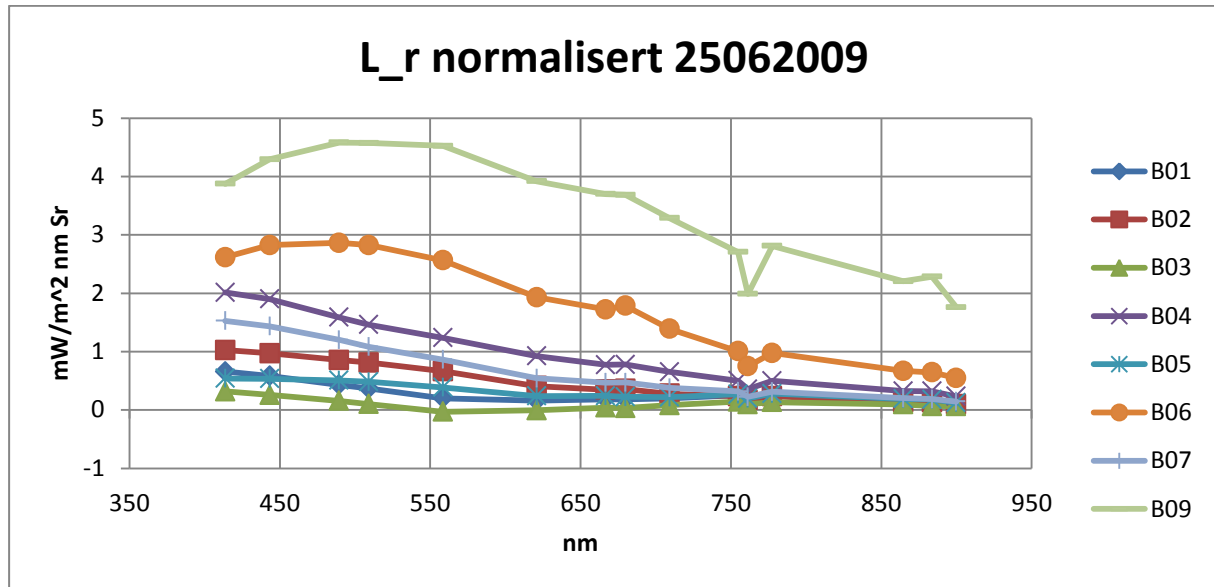
Ved å benytte formelen for total reflektert radians L_r som beskrevet i metodebeskrivelsen og i delkapittel 3.1 kan vi enkelt beregne total reflektert radians L_r som er esitmatet vi er på jakt etter.

Figur 3.49 viser L_r normalisert versjon for måleserie B09. Vi kan igjen se at det er noen likhetstrekk med $L_{u\text{ luft}}$ i figur 3.44.



Figur 3. 49 Total reflektert radians L_r for måleserie B09, normalisert versjon.

Ved å sammenligne L_r for alle måleseriene gir dette en bedre oversikt. Figur 3.50 viser L_r normalisert for alle 9 måleseriene den 26.juni 2009. Merk at måleserie B08 har feilet i ekstrapoleringen, så det har ikke vært mulig å beregne L_r for denne serien. I likhet med det feilede regresjonsplottet i figur 3.7 for 6.mai 2010, ble det oppdaget like før innlevering og det har ikke vært tid til å undersøke feilen nærmere.

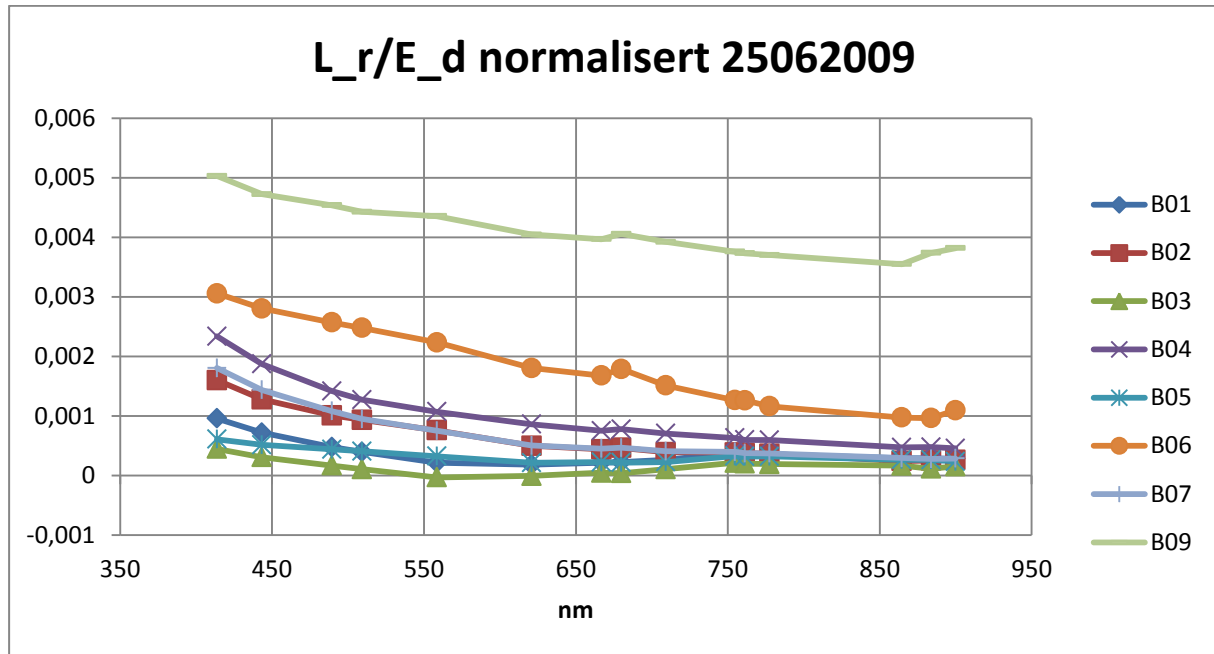


Figur 3. 50 Total reflektert radians L_r , normalisert versjon, for alle måleserier.

Ved første øyekast er det måleseriene B09 og B06 som skiller seg ut fra mengden. Måleserie B09 er over dobbelt så stor som måleserie B01, B02, B03, B04, B05 og B07. For eksempel ved 558,5nm bølgelengde har L_r en verdi på $4,53 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$ for serie B09, mens for serie B03 har L_r en verdi på $-0,03 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ nm sr})$. Negative verdier for L_r er fysisk umulig, og derfor må måleserie B03 forkastes. De andre måleseriene har positive verdier for L_r .

Den samme karakteristiske knekken i kurven som ble observert i plottene for L_r i 2010 toktene kan også ses her ved 761,3nm bølgelengde. Den samme knekken kan også ses i plottene for $L_{u \text{ luft}}$ og E_d for måleserie B09.

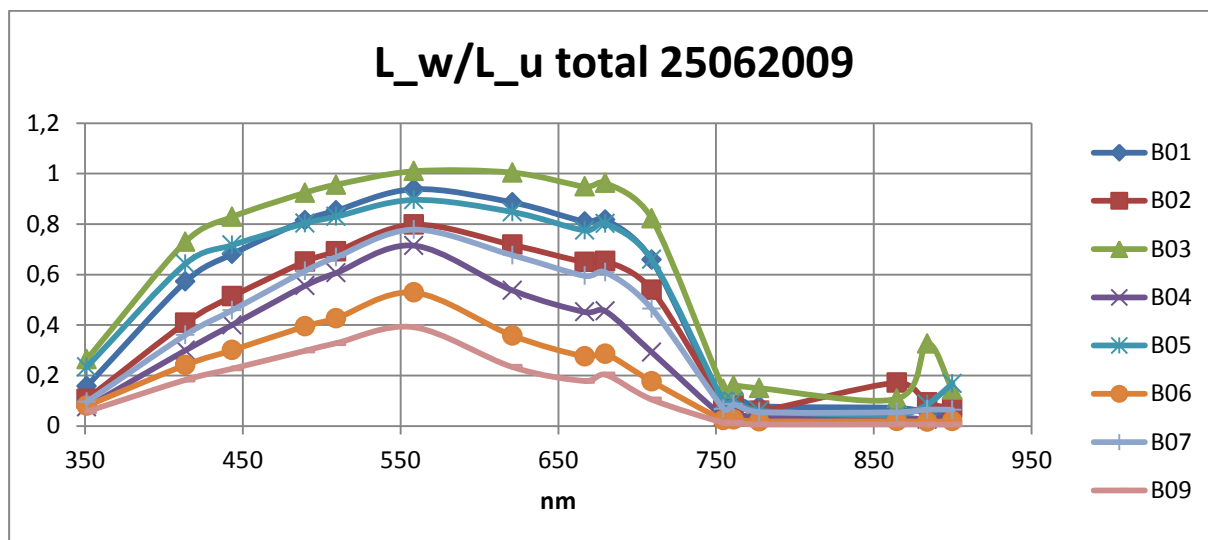
Ved å se nærmere på totalreflektansen L_r/E_d som vist i figur 3.51 for alle måleseriene, ser vi at vi får en opphøyning i samme bølgelengdeområdet for måleserie B06 og B09 der knekken i kurven for L_r i figur 3.50 oppstår. I de andre måleseriene er denne opphøyningen svært liten, og nesten ikke synlig.



Figur 3. 51 Totalreflektansen normalisert versjon for alle måleserier.

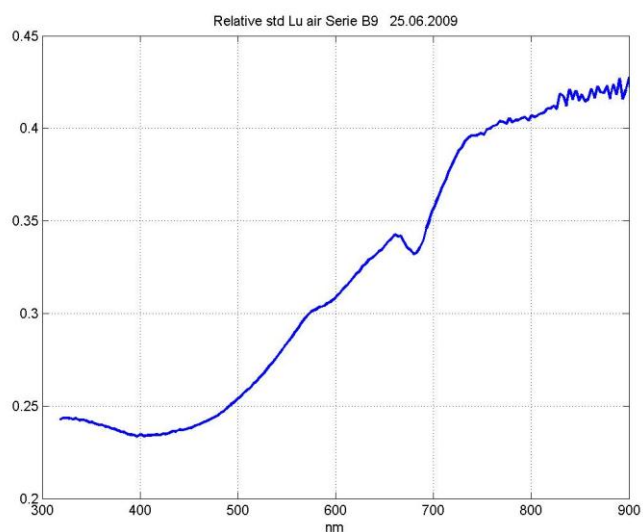
Totalreflektansen L_r/E_d er størst for måleserie B09 med verdier på mellom 0,004 og 0,005 i bølgelengdeområdet 450 til 650nm. Den minste er måleserie B03 som vi valgte å forkaste på grunn av negative verdier for L_r , ligger nær 0 i samme bølgelengdeområdet og har negativ størrelse ved 558,5nm bølgelengde. Serie B06 er nest størst og ligger på verdier mellom 0,001 og 0,003 i samme bølgelengdeområdet. Det som er verdt merke seg er måleserie B02 og B07 som krysser hverandre og nesten overlapper hverandre fra 489,4nm bølgelengde. Det samme er tilfelle med serie B01 og B05 som krysser hverandre og nesten overlapper hverandre fra samme bølgelengde.

Ved å se nærmere på forholdet $L_w/L_{u\ total}$ kan man se om $L_r \approx L_{u\ total}$ for veldig korte eller for veldig lange bølgelengder. I figur 3.52 er forholdet $L_w/L_{u\ total}$ plottet opp for alle måleseriene for den 25.juni. Ved bølgelengder over 750nm er $L_w/L_{u\ total} \ll 1$ og L_r er da tilnærmet lik $L_{u\ luft}$, det samme er også tilfelle for bølgelengder lavere enn 350nm.

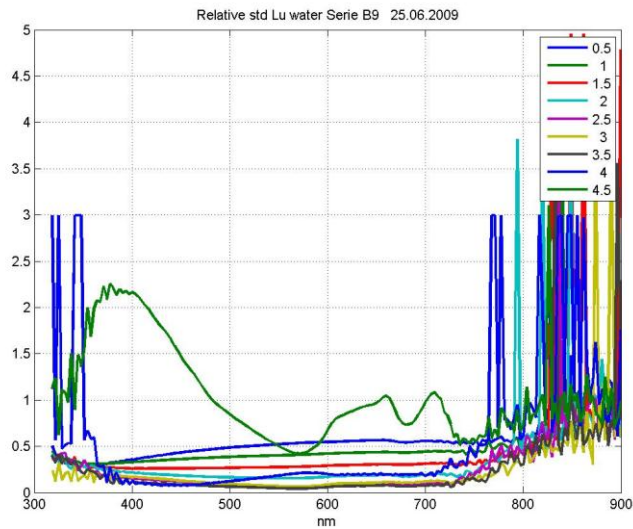


Figur 3. 52 Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ normalisert versjon for alle måleseriene for MERIS kanalene, inkludert 351,2nm.

For å undersøke nærmere om det er andre feilkilder i in-situ målingene kan man se nærmere på RSD i målingene for L_u og E_d . I figur 3.53 og 3.54 ser vi RSD for radians målinger gjort i luft og i vann for måleserie B09.



Figur 3. 53 Det relative standardavviket for $L_{u\ luft}$ for måleserie B09.



Figur 3. 54 Det relative standardavviket for L_u i vann for måleserie B09.

RSD for L_u i luft for måleserie B09 er vist i figur 3.53 som viser at den ligger under 43 %.

RSD for L_u i vann for måleserie B09 som vist i figur 3.54 har en verdi på i underkant av 60% for bølgelengdene mellom 400 og 700nm, med unntak av målingen gjort på 4,5m dyp som har RSD opp mot 225%. Utenfor dette bølgelengdeintervallet kommer RSD opp i 500%.

Oppsummering

- For målingene av L_u i måleserie B09 ser det ikke ut som det er noen større avvik i den normaliserte versjonen, men synlige avvik kan observeres fra målingene ved 0,5m og 4m dybde for $L_{u \text{ tilt}}$. Det samme er tilfelle med den ikke normaliserte versjonen av L_u , noe som kan vise at det kan være ytre forhold som er årsakene til avvikene.
- Ved å sammenligne svekningskoeffisienten i den normaliserte versjonen for alle ni måleserier under ett, er RSD på 10,9-22,7% på bølgelengder mellom 400 og 700nm, mens for høyere bølgelengder er RSD på 18-78% %, noe som er høyere enn for 2010 toktene. Merk at måleserie B03 ikke er tatt med i beregningen av gjennomsnittet for K_{Lu} .
- Total reflektert radians L_r har størst verdi for måleserie B09 og nest størst for serie B06, og de skiller seg ut ved å ha en annen form enn de andre seriene. De resterende måleseriene har samme form, men serie B03 er negativ, noe som er umulig fysisk sett. Årsaken til at den er negativ er at $L_w > L_{u \text{ total}}$.
- Forholdet $L_w/L_{u \text{ total}}$ er i alle måleserier mye mindre enn 1 ved bølgelengdene 350 og 750nm. Det vil si at $L_r \approx L_{u \text{ total}}$ ved disse bølgelengdene.

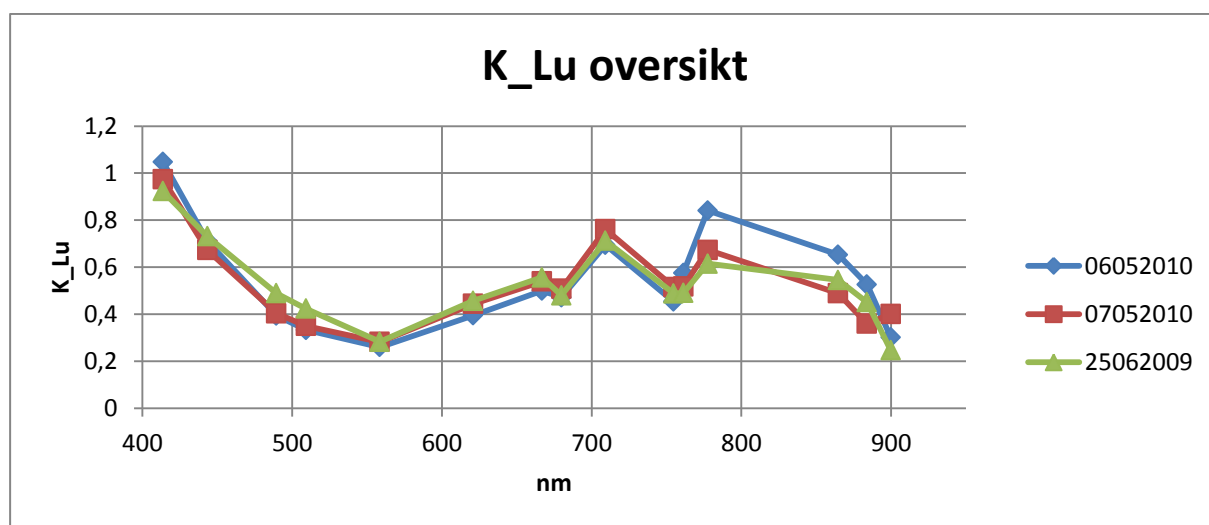
4 Konklusjon

Det er vanskelig å trekke noen endelige konklusjoner siden datamaterialet bare er ifra tre toktdager, men det er likevel mulig å trekke frem noen hovedtrekk.

Når det gjelder normalisering fører det til generelt penere og mer oversiktlige plott for L_u målingene tatt i vann, da spesielt måleserie B09 for 25.juni toktet i 2009 der avvikene på 0,5m og 4m dybde blir rettet opp ved hjelp av normalisering. Normalisering ser ut til å være en effektiv metode for å fjerne statistiske avvik.

Avvikene som kunne ses for måleserie B09 for de ikke normaliserte L_u målingene, kunne også observeres i L_u tilt og E_d målingene, noe som kan tale for at ytre forhold er årsaken.

Svekningskoeffisienten K_{Lu} har samme form for alle toktdagene i bølgelengdeområdet 400 til 750nm, men er noe ulike størrelsesmessig som vist i figur 4.1.



Figur 4. 1 Gjennomsnittet av svekningskoeffisienten K_{Lu} for hver av alle toktdagene.

Kurvene for L_r normalisert er fra måleserie til måleserie av ulik størrelsesorden og form, men et fellestrekk som går igjen er knekken i kurven som oppstår ved 761,3nm bølgelengde. Den samme knekken kan også ses i kurvene for L_u og E_d . Totalrefleksjonen L_r/E_d viser en tilsvarende opphøyning i bølgelengdeområdet rundt 761,3nm.

Forholdet $L_w/L_{u\ total}$ er mye mindre enn 1 ved bølgelengdene 350 og 750nm for begge toktdagene i mai 2010, mens for juni toktet 2009 er forholdet over 1/10 for noen av måleseriene.

Sammenligningen mellom water-leaving reflectance WLR beregnet ut ifra in-situ data og WLR ekstrahert fra MERIS data gir lite samsvar i plottene i figur 3.19 og 3.36. Årsaken kan være at atmosfærekorreksjonen har feilet i MERIS dataene.

RSD for L_u og E_d målingene viser stor variasjon mellom de ulike måleseriene fra de tre toktdagene. Det som er hovedtrekkene er forholdsvis liten RSD for L_u målt i vann for bølgelengder mellom 400 og 700nm for 2010 toktene, mens RSD utenfor dette bølgelengdeområdet kan komme opp i flere hundre prosent.

Det ble oppdaget at MATLAB skriptet i enkelte tilfeller feiler i ekstrapoleringsprosessen, noe som har vært tilfelle for ekstrapoleringen ved 951nm bølgelengde for måleserie C01 den 6.mai 2010 i figur 3.7 og for måleserie B08 for den 25.juni 2009.

5 Videre arbeid

I det videre arbeidet vil det være nyttig å måle nedadgående radians L_d fra senit på fremtidige tokt for å kunne beregne Fresnel refleksjonen. Under toktene i 2009 og 2010 ble L_d målt fra ulike vinkler i forhold til senit, men Fresnel refleksjonen varierte mye fra måleserie til måleserie til at dette kunne tas med i oppgaven.

Det som også ville vært interessant å undersøke er hvilken effekt refleksjonen fra malingen til forskningsfartøyet har på målingene. Dette ble nærmere undersøkt under et NIVA tok i mai 2011, men resultatene fra dette toktet er ikke ferdig prosessert.

MATLAB skriptet som har blitt brukt under prosesseringen av dataene har i enkelte tilfeller feilet i ekstrapoleringsprosessen. For eksempel klarer ikke skriptet å ekstrapolere fra 1-2 meters dybde i måleserie B08 den 25.juni 2009, og det plottet opp helt gal regresjonslinje ved 951nm bølgelengde for serie C01 den 6.mai. MATLAB skriptet må undersøkes nærmere og man må finne ut hvorfor ekstrapoleringen feiler i disse tilfellene.

Litteraturliste

Aas, E., 2010. Estimates of radiance reflected towards the zenith at the surface of the sea. *Ocean Sci.*, **6**: 861-867.

Brockmann Consult, The BEAM project. <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/> (Besøkt 3.mars 2011).

Brockmann Consult, BEAM plug-ins.

http://www.brockmannconsult.de/cms/web/beam/plugins?p_p_id=pluginsPortlet_WAR_beam_pluginsportlet10&version=4.8 (Besøkt 3.mars 2011)

Brockmann Consult, MERIS Regional Case 2 Water Algorithms (C2R).

http://www.brockmann-consult.de/beam/software/plugins/merisc2r-1.1/extensions/readme_c2rplugin_20061108.pdf (Besøkt 3.mars 2011)

ESA, MERIS data products. <http://envisat.esa.int/instruments/meris/data-app/dataproduct.html#1b> (Besøkt 15.mars 2011)

Jerlov, N. G., 1976. Marine optics. *Elsevier Oceanography Series*, **14**, 1-4.

Mobley, C. D., 1999. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements, *Appl. Optics*, **38**, 7442–7455.

Peters, S., Brockmann, C., Eleveld, M., Pasterkamp, R., van der Woerd, H., Ruddick, K., Park, Y., Block, T., Doerffer, R., Krasemann, H., Roettgers, R., Schoenfeld, W., Joergensen, P., Tilstone, G., Martinez-Vicente, V., Moore, G., Soerensen, K., Høkedal, J., and Aas, E., 2005b. *Regional chlorophyll retrieval algorithms for North Sea waters: intercomparison and validation*. Proceedings of the MERIS (A)ATSR Workshop 2005 (ESA SP-597). 26 - 30 September 2005 ESRIN, Frascati, Italy. Editor: H. Lacoste. Published on CDROM., p.19.1
Publication Date: 12/2005

Sørensen, K. Aas, E., and Høkedal, J., 2007. Validation of MERIS water products and bio-optical relationships in the Skagerrak. *Int. J. Remote Sens.*, **28** (3), 555-568.

TriOS, 2004. TriOS Optical Sensors manual RAMSES.

Vedlegg

Måleserie	Tidsrom	Dybde
C1	13:16:30-13:30:10	I luft – 3,0m
C2	13:44:10-13:53:20	I luft – 3,0m
C3	14:05:45-14:14:50	I luft – 3,0m

Tabell 3. 1 Oversikt over måleserier for toktet den 6.mai 2010

Måleserie	Tidsrom	Dybde
C1	10:51:20-11:00:00	I luft – 3,0m
C2	11:06:00-11:14:45	I luft – 3,0m
C3	11:19:30-11:28:40	I luft – 3,0m
C4	11:33:30-11:43:15	I luft – 3,0m
C5	12:54:00-13:01:55	I luft – 3,0m
C6	13:05:30-13:14:00	I luft – 3,0m
C7	13:16:40-13:25:50	I luft – 3,0m

Tabell 3. 2 Oversikt over måleserier for toktet den 7.mai 2010

Måleserie	Tidsrom	Dybde
B1	10:36:00- 10:43:40	I luft – 2,5m
B2	10:05:00- 10:19:25	I luft – 4,5m
B3	10:52:00- 11:00:20	I luft – 2,5m
B4	12:54:30- 13:06:20	I luft – 4,5m
B5	12:20:15- 12:28:00	I luft – 2,5m
B6	12:32:30- 12:44:30	I luft – 4,5m
B7	13:55:00- 14:07:00	I luft – 4,5m
B8	15:02:00- 15:14:20	I luft – 4,5m
B9	15:18:30- 15:32:20	I luft – 4,5m

Tabell 3. 3 Oversikt over måleserier for toktet den 25.juni 2009